تأثیر دما در واکنش تابعی کفشدوزک (*Coccinula elegantula*) روی شته جالیز (*Aphis gossypii*)

رقیه رحیمی[۱]، کامران مهدیان[۱*] و شهناز شهیدی نوقابی[۱]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۱۴)
DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.125

چکیده

شته جالیز *Aphis gossypii* Glover (Hem.: Aphididae) یکی از آفات مهم سبزی‌ها و گیاهان زینتی در گلخانه‌ها می‌باشد. مشکلات متعدد ایجاد شده در اثر مصرف زیاد سموم شیمیایی برای کنترل این آفت، ضرورت استفاده از سایر روش‌های مدیریت، از جمله کنترل بیولوژیک، را ایجاب می‌کند. کفشدوزک *Coccinula elegantula* Weise (Col.: Coccinellidae) به عنوان یکی از دشمنان طبیعی شته جالیز، نقش مؤثری در کنترل جمعیت این آفت دارد. در این تحقیق، تأثیر دما بر واکنش تابعی و کارایی این کفشدوزک نسبت به تراکم‌های مختلف شته جالیز بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، این شکارگر در هر سه دمای آزمایش شده (در محدوده دمایی ۱۸ ، ۲۵ و ۳۲ درجه سلسیوس) دارای واکنش تابعی نوع دوم بود. با افزایش دما از ۱۸ به ۲۵ درجه سلسیوس، نرخ جستجوگری و زمان دستیابی کفشدوزک به طور معنی‌داری به ترتیب افزایش و کاهش یافتند. ولی با افزایش دما از ۲۵ به ۳۲ درجه سلسیوس، پارامترهای مذکور تغییری نکردند. با توجه به اینکه محدوده دمایی بهینه برای رشد جمعیت شته جالیز روی خیار بین ۲۲/۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس قرار دارد، نرخ زیاد جستجوگری و کوتاه بودن زمان دستیابی این کفشدوزک در دماهای ۲۵ و ۳۲ درجه سلسیوس نشان دهنده این است که در صورتی که بتوان بر موانع پرورش انبوه این کفشدوزک غلبه کرد، یک گونه ارزشمند در کنترل بیولوژیک شته جالیز خواهد بود.

کلمات کلیدی: آفات گیاهی، دشمنان طبیعی، نرخ جستجوگری، زمان دستیابی

مقدمه

یکی از مهمترین آفات خیار در گلخانه‌ها شته جالیز *Aphis gossypii* Glover (Hem.: Aphididae) است که باعث ایجاد مشکلات زیادی در گلخانه‌های پرورش خیار می‌شود. این آفت همه‌جازی و الیگوفاژ بوده و در بسیاری از مناطق، شامل سردسیری، نیمه‌گرمسیری و معتدل، فعال است (۱۱، ۱۲، ۲۳ و ۳۰). این شته همچنین می‌تواند بیش از ۷۶ نوع ویروس بیماری‌زای گیاهی، از جمله ویروس موزاییک خیار، را به گیاهان سالم منتقل کند و از این طریق باعث ایجاد خسارت غیرمستقیم به گیاهان می‌شود (۱۳، ۱۹ و ۴۱). این شته برای اولین بار در ایران از روی خیار توسط افشار (۲) در سال ۱۳۱۷ جمع‌آوری شد. اما به گیاهان اقتصادی دیگر مانند پنبه، خربزه،

۱. گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: KamranMahdian@vru.ac.ir

هندوانه و بادمجان نیز خسارت وارد می‌کند (۲ و ۵).

برای کنترل این آفت در گلخانه‌های خیار، حجم زیادی از سموم شیمیایی در طول فصل مصرف می‌شود. استفاده مکرر از آفت‌کش‌ها روی خیار گلخانه‌ای موجب صرف هزینه‌های زیاد و ایجاد خطر برای مصرف‌کنندگان می‌گردد (۲۳). همچنین، عدم کنترل رضایت‌بخش شته جالیز توسط حشره‌کش‌ها و مقاوم شدن این شته نسبت به تعداد زیادی از آفت‌کش‌ها، تلاش برای یافتن روش‌های کنترل جایگزین، مانند استفاده از ارقام مقاوم، دشمنان طبیعی و روش‌های زراعی، را ضروری می‌سازد (۲۶ و ۴۳).

در اکوسیستم‌های کشاورزی، تعداد زیادی از حشرات شکارگر حضور دارند که در میان آن‌ها کفشدوزک‌های شکارگر خانواده Coccinellidae مهم‌ترین دشمنان طبیعی بوده و حدود ۹۰٪ از ۵۰۰۰ گونه کفشدوزک شناخته شده شکارگر حشرات و کنه‌ها را تشکیل می‌دهند (۲۹ و ۴۰). کفشدوزک *Coccinula elegantula* weise (Col.: Coccinellidae) اولین بار توسط وایز در قزاقستان در سال ۱۸۹۰ جمع‌آوری و توصیف شد. در ایران، این گونه اولین بار توسط دوورجر (۱۵) در سال ۱۹۸۳ از بروجرد، کوهدشت و داران جمع‌آوری و گزارش شده است. از این جنس تا کنون هشت گونه معرفی شده است. با وجود اینکه این کفشدوزک در جهان به‌عنوان عامل کنترل بیولوژیک در موارد مشخص معرفی شده است، ولی اطلاعات در مورد کمیت و کیفیت اثر تغذیه روی رشد و نمو، تولید مثل و همچنین شکارگری این شکارگر محدود است (۱۰).

واکنش تابعی یکی از شاخص‌های ضروری در انتخاب دشمنان طبیعی برای برنامه‌های کنترل بیولوژیک است (۴۷). واکنش تابعی رابطه بین تعداد طعمه مورد حمله قرار گرفته توسط یک دشمن طبیعی در مدت زمان معین و تراکم اولیه طعمه را نشان می‌دهد. به عقیده هولینگ (۲۸) اگر میزان شکارگری یک دشمن طبیعی حالت وابسته به تراکم نشان دهد، در این صورت دشمن طبیعی (شکارگر یا پارازیتوئید) قادر است تراکم میزبان خود را تنظیم کند. به همین دلیل، استفاده از نتایج آزمایش‌های واکنش تابعی در انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک نقش تعیین‌کننده دارد (۴۸).

واکنش تابعی یک شکارگر در شرایط مختلف محیطی و تغذیه‌ای (گونه یا رقم گیاهی، رطوبت، دما، نور و ...) نسبت به طعمه متفاوت است. یکی از عوامل مؤثر بر واکنش تابعی دشمنان طبیعی، محدوده دمایی است که در آن دشمن طبیعی به دنبال میزبان خود جستجو می‌کند (۲۱ و ۳۷). این عوامل ممکن است به طور مستقیم یا غیر مستقیم روی واکنش تابعی دشمنان طبیعی تأثیر داشته و عملکرد عامل کنترل بیولوژیک را تغییر دهند (۴۷). اطلاعاتی که در مورد تأثیر دما روی نوع و دامنه واکنش تابعی کفشدوزک‌های شکارگر وجود دارد نشان می‌دهد که نرخ شکارگری لارو و حشره کامل کفشدوزک‌ها با افزایش دما در محدوده دمایی ۱۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد (۲۰، ۲۲، ۳۳، ۳۵ و ۴۹).

در این پژوهش، اثر دما بر واکنش تابعی و کارایی کفشدوزک *C. elegantula* در تراکم‌های مختلف شته *A. gossypii* مورد بررسی قرار گرفت. هدف نهایی این پژوهش، جمع‌آوری اطلاعات کافی در زمینه برهمکنش شکارگر- طعمه این کفشدوزک به منظور افزایش کارآمدی برنامه‌های کنترل بیولوژیک شته جالیز بوده است.

مواد و روش‌ها

پرورش شته جالیز *A. gossipyii* در گلخانه

جمعیت اولیه شته جالیز از گلخانه پژوهشی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان تهیه شد. پرورش اولیه شته جالیز به عنوان میزبان کفشدوزک روی خیار گلخانه‌ای انجام شد. به این منظور، بذرهای خیار رقم گوهر (F1 Hybrid) در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۹ سانتی‌متر در گلخانه کشت شدند. سپس، این گلدان‌ها درون قفس‌های توری‌دار به ابعاد ۹۰×۱۰۰×۱۰۰ سانتی‌متر نگه‌داری

شدند. برای کشت خیار از محیط کشت خاک‌برگ و پرلایت (به نسبت ۱:۱) استفاده شد. همچنین، برای تأمین گیاه میزبان و شته‌ی مورد نیاز، کشت خیار هر دو هفته یک‌بار تکرار شد و تعدادی از گلدان‌های جدید کشت شده به قفس‌های مذکور انتقال داده شدند تا به‌تدریج جایگزین گلدان‌های پیشین گردند.

پرورش کفشدوزک در آزمایشگاه

جهت ایجاد کلنی و پرورش آزمایشگاهی، کفشدوزک‌های نر و ماده از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان با ارتفاع ۱۴۶۹ متر از سطح دریا و از پوشش گیاهی خیار جمع‌آوری شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده جهت شناسایی و تأیید گونه به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان ارسال و با استفاده از منابع معتبر، بر اساس مورفولوژی خارجی و جنیتالیای افراد نر شناسایی شد (۳، ۱۵ و ۱۶). پرورش کفشدوزک‌ها در ظروف پرورش پلاستیکی دارای در مجهز به توری، به ابعاد ۲۳×۱۱×۶ سانتی‌متر و در داخل اتاقک رشد تنظیم شده در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. ظرف‌ها به صورت روزانه بازدید شده و هر روز برگ‌های تازه خیار آلوده به شته جالیز برای تغذیه در اختیار کفشدوزک‌ها قرار می‌گرفت. رطوبت داخل ظرف‌ها با پنبه مرطوب تأمین می‌شد.

واکنش تابعی

واکنش تابعی حشرات ماده کفشدوزک به تراکم‌های مختلف پوره سن چهار شته جالیز در دماهای ۱±۱۸، ۱±۲۵ و ۱±۳۲ درجه سلسیوس و در اتاقک رشد با رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ (روشنایی:تاریکی) بررسی شد. در این آزمایش، از ظروف پتری ۹ سانتی‌متری، که بر قسمتی از درب آن‌ها توری نصب شده بود، استفاده شد. کفشدوزک‌های مورد استفاده در این آزمایش از نظر تولید مثلی فعال بودند و به مدت ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش گرسنه نگه داشته شدند. تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ عدد پوره شته جالیز به وسیله قلم‌موی ظریف روی دیسک برگ خیار به داخل ظروف پتری منتقل شدند و یک عدد کفشدوزک ماده با طول عمر دو هفته در هر ظرف پتری روی برگ قرار داده شد و میانگین تغذیه در هر تراکم ثبت گردید. قبل از شروع آزمایش، شکارگر و طعمه به مدت یک ساعت برای عادت به دمای مورد آزمایش در دمای مربوطه قرار گرفتند. مدت زمان اجرای هر آزمایش ۲۴ ساعت بود و هر آزمایش در هر یک از سطوح جمعیتی طعمه هشت مرتبه تکرار شد و کنترل شامل ظروف پتری بدون کفشدوزک نیز برای هر تراکم استفاده شد. شته‌های کشته شده در طول آزمایش جایگزین نگردید. بعد از ۲۴ ساعت، تعداد شته‌های زنده و خورده شده توسط کفشدوزک ثبت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های واکنش تابعی

تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به واکنش تابعی که شامل دو مرحله تعیین نوع واکنش تابعی و برآورد پارامترهای منحنی واکنش تابعی است، با استفاده از نرم‌افزار SAS (1.3.0.161) (۴۳) انجام شد. نوع واکنش تابعی به وسیله رگرسیون لجستیک (Regression Logistic) به صورت نسبت شکار خورده شده به عنوان تابعی از تراکم اولیه طعمه و از طریق تابع چندجمله‌ای زیر انجام شد:

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1N_0 + P_2{N_0}^2 + P_3{N_0}^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1N_0 + P_2N_{0_2} + P_3{N_0}^3)} \qquad [۱]$$

که N_e تعداد طعمه خورده شده، N_0 تعداد اولیه طعمه و P_0، P_1، P_2 و P_3 پارامترهایی هستند که باید برآورد شوند. این پارامترها به روش CATMOD در برنامه SAS تخمین زده می‌شوند. مثبت یا منفی بودن شیب خط نزدیک به ناحیه‌ای که $N_0=0$ است در تعیین نوع واکنش تابعی اهمیت دارد. بنابراین، در طراحی آزمایش‌های واکنش تابعی، انتخاب تراکم‌های اولیه

جدول ۱. برآوردهای حداکثر درست نمایی (Maximum-likelihood) به‌دست آمده از رگرسیون لجستیک در آزمایش واکنش تابعی حشرات کامل کفشدوزک *C. elegantula* نسبت به تغییرات تراکم پوره‌های سن چهارم شته جالیز در شرایط کنترل شده

پارامتر	دما (درجه سلسیوس)		
	۱۸	۲۵	۳۲
عرض از مبدا	۰/۴۱۶۵±۰/۱۲۰۶۰	۱/۰۴۴۲±۰/۲۷۸۶۰	۰/۸۰۷۲±۰/۱۱۴۴۰
قسمت خطی (N_o)	-۰/۰۱۷۲±۰/۰۰۱۷۰	-۰/۰۳۲۰±۰/۶۷۶۰۰	-۰/۰۰۷۹±-۰/۰۰۱۴۷
درجه ۲ (N_{o2})	۰/۰۰۰۱۶۶±۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱± ۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲±۰/۰۰۰۴۲
درجه ۳ (N_{o3})	۱/۷۱E-۶±۲/۶۰۹E-۶	۳/۰۴۳E-۶±۲/۳۲۳E-۶	-۱/۷۳E-۶±۲/۳۶۳E-۶

جدول ۲. مقایسه مقادیر پارامترهای واکنش تابعی حشرات ماده کفشدوزک *C. elegantula* نسبت به پوره سن چهارم شته جالیز

دما (درجه سلسیوس)	نرخ جستجو (a)		زمان دستیابی (T_h)		ضریب تبیین (r^2)
	فاصله اطمینان ۹۵٪	SE±میانگین	فاصله اطمینان ۹۵٪	SE±میانگین	
۱۸	۰/۰۱۸۹-۰/۰۳۷۲	۰/۰۲۸±۰/۰۰۴ a	۱/۴۳۰۳-۱/۹۰۴۹	۱/۶۶۷±۰/۱۱۸ a	۰/۸۳
۲۵	۰/۰۵۱۷-۰/۱۰۹۱	۰/۰۸۰±۰/۰۱۴ b	۰/۵۶۹۴-۰/۷۴۶۸	۰/۶۵۸±۰/۰۴۴ b	۰/۹۰
۳۲	۰/۰۳۱۷-۰/۰۷۶۹	۰/۰۵۴±۰/۰۱۱ b	۰/۰۸۸۹-۰/۶۳۸۶	۰/۲۲۳±۰/۰۶۷ b	۰/۸۸

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس فاصله اطمینان ۹۵٪ است.

اهمیت دارد. منفی بودن شیب نشان‌دهنده وجود واکنش تابعی نوع دوم است. از این جهت، مثبت و منفی بودن مقادیر P_1 و P_2 تعیین‌کننده نوع واکنش تابعی می‌باشد. مثبت بودن مقدار پارامتر خطی P_1 و منفی بودن مقدار پارامتر درجه دوم P_2 نشان‌دهنده واکنش تابعی نوع سوم است. در حالی که اگر هر دو این پارامترها منفی باشند واکنش تابعی از نوع سوم می‌باشد (۳۳).

از رگرسیون غیر خطی حداقل مربعات (Nonlinear least squares regression) (تعداد طعمه خورده شده در برابر تعداد اولیه طعمه)، برای تخمین پارامترهای واکنش تابعی با استفاده از روش NLIN در برنامه SAS استفاده شد (۳۱). داده‌های واکنش تابعی در معادله شکارگر تصادفی راجرز (Random predator equation) قرار داده شد. در این روش، رابطه ۲ برای واکنش تابعی نوع دوم:

$$N_e = N_0\{1-\exp[a(T_hN_e - T)]\} \qquad [۲]$$

و رابطه ۳ برای واکنش تابعی نوع سوم:

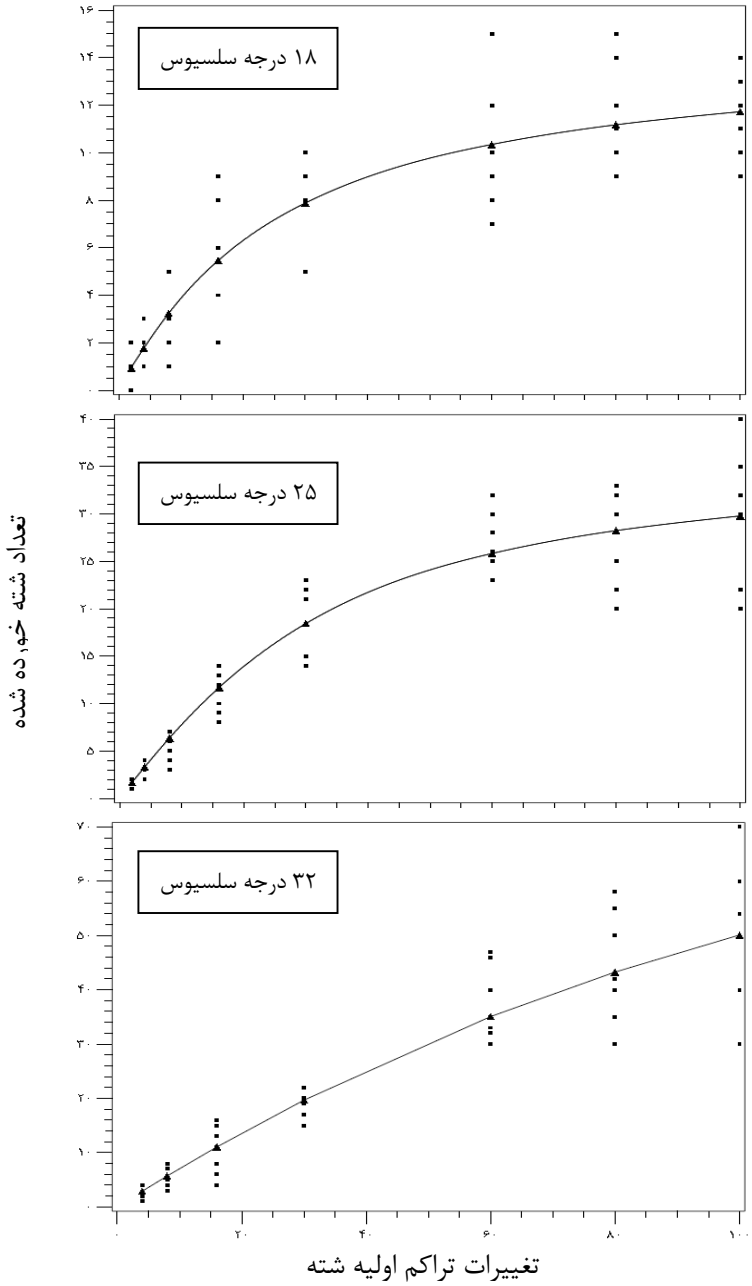
$$N_e = N_0\left(1-\exp\left[\frac{(d+bN_0)(T_hN_e - T)}{(1+cN_0)}\right]\right) \qquad [۳]$$

است. در معادلات فوق، a نرخ حمله، T_h زمان دست‌یابی (به ساعت)، T کل زمان آزمایش و b، c و d مقادیر ثابت هستند. ضریب تبیین (r^2) که نسبت مجموع باقیمانده مربعات به مجموع تصحیح شده مربعات بوده و مشخص کننده برازش تخمین مدل است، با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$r^2 = [1 - \text{residual sum of squares} / \text{corrected total sum of squares}] \qquad [۴]$$

نتایج و بحث

تجزیه رگرسیون لجستیک نشان داد که نوع واکنش تابعی این کفشدوزک با تغییر دما از ۱±۱۸ به ۱±۲۵ و ۱±۳۲ درجه سلسیوس تغییری نکرده و در سه دما از نوع دوم است (جدول ۱). شیب قسمت خطی منحنی درجه سه رگرسیون لجستیک در آزمایش واکنش تابعی منفی بود و مقدار آن برای دماهای ۱±۱۸، ۱±۲۵ و ۱±۳۲ درجه سلسیوس به ترتیب ۰/۰۱۷۲-، ۰/۰۳۲۰-



شکل ۱. منحنی واکنش تابعی کفشدوزک ماده بالغ *C. elegantula* به تغییرات تراکم پوره‌های سن ۴ شته جالیز در دماهای ۱۸، ۲۵ و ۳۲ درجه سلسیوس

و ۰/۰۰۷۹- تعیین گردید.

مقادیر نرخ جستجو (a)، زمان دست‌یابی (T_h) و ضریب تبیین (r^2) در دماهای ذکر شده برای حشرات ماده کفشدوزک در جدول ۲ ارائه شده است.

در واکنش تابعی نوع دوم، کفشدوزک نسبت به تراکم‌های مختلف شته جالیز به صورت وابسته معکوس به تراکم عمل می‌کند. در این وضعیت، با افزایش تراکم طعمه، درصد طعمه‌های شکار شده به تدریج کاهش یافته و منحنی حاصله در نهایت به صورت مجانب در می‌آید (شکل ۱). مقایسه حدود اطمینان ۹۵٪ برآورد پارامترهای واکنش تابعی نشان داد که با

افـزایش دمـا از ۱±۱۸ بـه ۱±۲۵ درجـه سلسـیوس، نـرخ جستجوگری (Searching rate) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و با افزایش دما از ۱±۲۵ به ۱±۳۲ درجه سلسیوس تفاوت معنـی‌داری در نـرخ جستجوگری وجـود نداشـت. همچنـین، حدود اطمینان ۹۵٪ نشان داد کـه زمـان دسـت‌یـابی بـه طعمـه (Handling time)، بـا افـزایش دمـا از ۱±۱۸ بـه ۱±۲۵ درجـه سلسیوس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در ادامـه، بـا افـزایش دمـا از ۱±۲۵ بـه ۱±۳۲ درجـه سلسـیوس اخـتلاف معنـی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، دما در واکنش شکارگر بـه تـراکم طعمـه مؤثر بوده و سطح شکارگری از دمای کم تـا دمـای زیـاد تغییـر کـرده اسـت. بـا کـاهش دمـا در ۱±۱۸ درجـه سلسـیوس نـرخ جستجوگری کاهش یافت، اما زمان دستیابی زیاد شـد. بـه ایـن ترتیب، دماهای زیاد (۱±۲۵ و ۱±۳۲ درجه سلسیوس) با داشتن نرخ جستجوگری زیاد و زمان دستیابی کوتاه‌تر، که از جنبه‌هـای مثبت شکارگری کفشدوزک در این دماهـا محسـوب مـی‌شـود، مناسب‌ترین دماها در آزمایش واکنش تابعی بودند. با توجـه بـه بررسی انجام شده در رابطه بـا تـأثیر دو دمـای ۲۵ و ۳۲ درجـه سلسـیوس بـر رشـد و نمـو و درصـد بقـای کفشـدوزک *C. elegantula* (۹) و تعیین دمای ۳۲ درجـه بـه عنـوان دمـای بهینه برای رشد و نمو این کفشدوزک، می‌توان نتیجه‌گیری کـرد که دمای ۳۲ درجه سلسیوس مناسب‌تـرین دمـا از نظـر واکـنش کفشدوزک به تراکم طعمه می‌باشد.

آزمـایش‌هـای متعـددی در ارتبـاط بـا نـوع واکـنش تـابعی کفشـدوزک‌هـا انجـام شـده اسـت، ماننـد واکـنش تـابعی *Hippodamia variegata* Goeze نسبت به تغییرات تراکم شـته جالیز (۸ و ۱۶) و نسبت به تغییرات تـراکم شـته جـالیز و شـته نخـود فرنگـی (۳۶)، واکـنش تـابعی *Exochomus nigromaculatus* Goeze نسبت به تغییرات تراکم شته خرزهـره و شـته اقاقیا (۹). در همه‌ی موارد فوق، واکنش تـابعی ایـن شـکارگرها با مدل واکنش تابعی نوع دوم مطابقت نشان داده است.

بررسی‌های انجام شده در رابطه بـا تـأثیر دمـا روی واکـنش تابعی کفشدوزک‌ها، ماننـد واکـنش تـابعی کفشـدوزک *Adalia bipunctata* L. در سـه دمـای ۱۹، ۲۳ و ۲۷ درجـه سلسـیوس روی شـته سـبز هلـو (۳۰)، واکـنش تـابعی کفشـدوزک *H. variegata* روی پسـیل پسـته در دو دمـای ۲۵ و ۳۰ درجـه سلسیوس (۱) و واکنش تابعی حشـرات بـالغ مـاده کفشـدوزک *Menochilus sexmaculatus* (Fabricius) نسـبت بـه تغییـرات تراکم پوره‌های سن چهارم شته خرزهره در سه دمای ۱۷، ۲۵ و ۳۳ درجـه سلسـیوس (۷) نشـان داده‌انـد کـه دمـا روی نـوع واکنش‌های تابعی این شکارگرها تأثیری ندارد و واکـنش تـابعی این کفشدوزک‌ها در دماهای مورد آزمـایش از نـوع دوم اسـت. ولی با افزایش دما، نرخ جستجوگری افـزایش و زمـان دسـتیابی کاهش می‌یابد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقـت دارد. این نتایج نشان‌دهنده آن است که دمـا در واکـنش شـکارگر بـه تراکم طعمه مؤثر بوده و سطح شکارگری از دمای کم تـا دمـای زیـاد تغییـر کـرده اسـت. نظـرات مختلفـی در مـورد کـارایی شکارگرهایی که دارای واکنش تابعی نوع دوم هستند، به عنـوان یک عامل کنترل بیولوژیـک، ارائـه شـده اسـت. شـکل منحنـی واکنش تابعی ممکن است در اثر شرایط محیطی مختلـف ماننـد ناهمگونی زیستگاه، شدت نور، گیاه میزبان، دما و پناهگاه شکار تغییر کند (۱۴، ۳۳ و ۳۷). در این تحقیق، دما بـه طـور مـؤثری روی پارامترهای واکنش تابعی شکارگر به تراکم شکار مؤثر بود (شکل ۱)، که این حالت ممکن است به خاطر تغییـرات وابسـته به دما در متابولیسم و فعالیت شکار و شـکارگر باشـد (۳۸). بـا توجه به نتایج به دست آمده که نشان می‌دهد دو دمـای ۱±۲۵ و ۱±۳۲ درجه سلسیوس به عنوان مناسب‌ترین دماها در آزمـایش واکنش تابعی بودند، مشخص می‌شود که دما مـی‌توانـد اثرهـای مهمی در شکارگری کفشدوزک‌ها داشته باشد. به نظر مـی‌رسـد که واکنش تابعی نوع دوم در بین کفشدوزک‌ها رایج باشـد (۱۸، ۳۹ و ۴۷). هولینگ (۲۷) بیان می‌کند که شکارگرهایی که دارای واکنش تابعی نوع دوم هستند از نظـر تئوریـک قـادر بـه تنظـیم جمعیت‌های شکار در محدوده‌ای مشخص از تراکم طعمـه خـود هستند. این نوع واکنش تابعی از نظر رتبه‌بندی می‌تواند در رتبه دوم بعد از واکنش تابعی نـوع سـوم قـرار گیـرد. زیـرا در ایـن

وضعیت، دشمن طبیعی قادر نیست در ارتباط متقابل با افـزایش جمعیت میزبان، میزان حمله خود را به حد کافی افزایش دهد و به این ترتیب از میزان کارایی دشـمن طبیعـی کاسـته مـی‌شـود. وجـود واکـنش تـابعی نـوع دوم در *C. elegantula* و نـرخ شکارگری بالای این کفشدوزک روی شته جالیز باعث می‌شـود ایـن کفشـدوزک دارای کـارایی خـوبی در اسـتفاده از آن در برنامه‌های کنترل بیولوژیک اشباعی در گلخانه‌ها باشد. ذکر ایـن نکته ضروری است که اگرچه نوع واکنش تابعی یک عامل مهـم در ارزیابی شکارگرها است، امـا اسـتفاده از آن بـه عنـوان تنهـا معیار برای پیش‌بینی موفقیت یا عدم موفقیت یـک شـکارگر بـه عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک کافی نبوده و عوامـل دیگـری مانند واکنش عددی، نرخ ذاتی افزایش جمعیت، رقابت و عوامل محیطی زنـده و غیـر زنـده نیـز اثـر قابـل تـوجهی بـر کـارایی شـکارگرها، ظرفیـت شـکارگری در طـولانی مـدت و توانـایی سرکوب جمعیت آفات دارند (۴۱). بنابراین، انجام این مطالعات برای ارزیابی امکان استفاده از ایـن کفشـدوزک در برنامـه‌هـای کنترل بیولوژیک اشباعی در گلخانه‌ها مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با توجه بـه اینکـه کفشـدوزک *C. elegantula* در دماهـای ۱±۲۵ و ۱±۳۲ درجـه سلسـیوس دارای نرخ جسـتجوگری و شـکارگری زیـاد و زمـان دسـتیابی کوتاه‌تری است و از طرفی محـدوده دمـایی بهینـه بـرای رشـد جمعیت *A. gossypii* روی خیار بین دماهای ۲۲/۵ تا ۳۰ درجـه سلسیوس قرار دارد (۴۵)، لذا این شکارگر می‌توانـد در شـرایط گلخانه برای کنترل این آفت مؤثر واقع شود.

منابع مورد استفاده

۱. اصغری، ف.، م. ا. سمیع، ک. مهدیان، م. بصیرت و ح. ایزدی. ۱۳۸۹. واکـنش تـابعی کفشـدوزک*Hippodamia variegata* Goeze شکارگر پسیل معمولی پسته در شرایط آزمایشگاهی. نوزدهمین کنگره گیاه‌پزشکی، ۹ تا ۱۲ مرداد ماه، دانشگاه تهران.

۲. افشار، ج. ۱۳۱۷. آفات صیفی، سبزیجات، نباتات صنعتی و علوفه در ایران. انتشارات اداره کل کشاورزی تهران، ۱۲۴ صفحه.

۳. باقری، م. و م. س. مصدق. ۱۳۷۵. فـون کفشـدوزک‌هـای (Col.: Coccinellidae) اسـتان چهـار و محـال بختیـاری (قسـمت اول زیرخانواده‌های Coccinellinae و Chilocorinae). مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی ۲(۷ و ۸): ۲۹-۳۵ .

۴. جعفرنیا، س. و م. همایی. ۱۳۸۷. کتاب راهنمای جامع و مصور کشت گلخانه‌ای خیار و گوجـه‌فرنگـی. چـاپ چهـارم، انتشـارات سخن گستر، ۴۰۰ صفحه.

۵. خانجانی، م. ۱۳۸۴. آفات سبزی و صیفی ایران. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۴۶۷ صفحه.

۶. خلیلی، ا.، ک. مهدیان، ش. حسامی و ح. ایزدی. ۱۳۹۱. بررسی زیست‌شناسی و کـارایی کفشـدوزک شـش نقطـه‌ای *Menochilus sexmaculatus* در شرایط آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج)، ۶۶ صفحه.

۷. رحیمی، ر. ۱۳۹۲. بررسی زیست‌شناسـی و کـارایی کفشـدوزک*Coccinula elegantula* weise (Col.: Coccinellidae) در شـرایط آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج)، ۶۷ صفحه.

۸. مهاجری پاریزی، ع.، ح. مددی، ح. الهیاری و م. ر. مهرنژاد. ۱۳۸۹. واکنش تابعی مراحل مختلف زندگی کفشدوزک *H. variegata* نسبت به پوره سن چهارم شته جالیز در شرایط microcosm. نوزدهمین کنگره گیـاه‌پزشـکی، ۹ تـا ۱۲مـردادمـاه، مرکـز تحقیقـات گیاه‌پزشکی تهران، صفحه ۳۷.

۹. نظری، ع. ر.، ا. صحراگرد و ج. حاجی‌زاده. ۱۳۸۳. واکنش‌تابعی کفشدوزک*Exochomus nigromaculatus* (Col.: Coccinellidae)

نسبت به تراکم‌های مختلف دو گونه شته خرزهره *Aphis nerii* و شته اقاقیا *A. cracdivora*. آفات و بیماری‌های گیاهی ۷۲(۲): ۹۴-۸۵.

10. Ansaripour, A. and J. Shakarami. 2011. Study of ladybirds (Col: Coccinellidae) in Khorramabad district and the first report of *Hyperaspis quadrimaculata* (REDTENBACHER 1844) for Iranian fauna. Life Sci. J. 8(3): 488-495.
11. Blackman, R.L. and V.F. Eastop. 1984. Aphids on the World's Crops: An Identification and Information Guide. Wiley, London.
12. Carletto, J., E. Lombaert, P. Chavigny, T. Brevault, L. Lapchin and F. Vanlerberghe-Masutti. 2009. Ecological specialization of the aphid *Aphis gossypii* Glover on cultivated host plants. Mol. Ecol. 18(10): 2198-2212.
13. Chan, C.K., A.R. Forbes and D.A. Raworth. 1991. Aphid-transmitted Viruses and Their Vectors of the World. 3rd Edition, Agriculture Canada, Research Branch, Canada, 216 p.
14. De Clercq, P., J. Mohaghegh and L. Tirry. 2000. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). Biol. Control 18: 65-70.
15. Duverger, P.C. 1983. Contribution a'la connaissance des Coccinellidae d'Iran. Nouvelle Revue de Entomol. 13(1): 73-79.
16. Duverger, C. 2003. Phylogénie des Coccinellidae. Bull. Soc. Linn. Bordeaux 31: 57-76.
17. Elhag, E.T.A. and A.A. Zaitoon. 1996. Biological parameters for four Coccinellid species in central Saudi Arabia. Biol. Control 7(3): 316-319.
18. Farhadi, R., H. Allahyari and S.A. Juliano. 2010. Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). Environ. Entomol. 39: 1586-1592.
19. Garzo, E., C. Soria, M.L. Gomez-Guillamon and A. Fereres. 2002. Feeding behavior of *Aphis gossypii* on resistant accessions of different melon genotypes (*Cucumis melo*). Phytoparasitica 30(2): 129-140.
20. Giroux, S., R.M. Duchesne and D. Coderre. 1995. Predation of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera, Chrysomelidae) by *Coleomegilla maculata* (Coleoptera, Coccinellidae): Comparative effectiveness of predator developmental stages and effect of temperature. Environ. Entomol. 24: 748-754.
21. Gitonga, L.M., W.A. Overholt, B. Löhr, J.K. Magambo and J.M. Mueke. 2002. Functional response of *Orius albidipennis* (Hemiptera: Anthocoridae) to *Megalurothrips sjostedti* (Thysanoptera: Thripidae). Biol. Control 24(1): 1-6.
22. Gotoh, T., M. Nozawa and K. Yamauchi. 2004. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. Appl. Entomol. Zool. 39: 97-105.
23. Hardee, D.D. 1993. Resistance in aphids and whiteflies: Principles and keys to management. Proceedings of Beltwide Cotton Conferences, New Orleans, National Cotton Council, Memphis, pp. 20-23.
24. Havelka, J. 1978. Carnivorous gall midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae): The bionomic, mass laboratory rearing and use against aphids on greenhouses crops. PhD Thesis, 259 p.
25. Heinz, K.M., R.G. Van Driesche and M.P. Parrella. 2004. Biocontrol in Protected Culture. Ball Publishing, Batavia.
26. Herron, G., K. Powis and J. Rophail. 2000. Baseline studies and preliminary resistance survey of Australian populations of cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). Aust. J. Entomol. 39: 33-38.
27. Holling, C.S. 1965. The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. Mem. Entomol. Soc. Can. 48: 3-60
28. Holling, C.S. 1966. The functional response of invertebrate predator to prey density. Mem. Entomol. Soc. Can. 48: 1-86.
29. Iperti, G. 1999. Biodiversity of predaceous Coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. Agric. Ecosys. Environ. 74(1): 323-342.
30. Jalali, M.A., L. Tirry and P. De Clercq. 2010. Effect of temperature on the functional response of *Adalia bipunctata* to *Myzus persicae*. BioControl 55(2): 261-269.
31. Juliano, S.A. 2001. Non-linear curve fitting predation and functional response curves. *In:* Scheiner, M.S. and J. Gurevitch (Eds.), Design and Analysis of Ecological Experiments, Chapman and Hall, New York, 432 p.
32. Kersting, U., S. Satar and N. Uygun. 1999. Effect of temperature on development rate and fecundity of apterous *Aphis gosspii* Glover (Hom.: Aphididae) reared on *Gossypium hirsutum* L. J. Appl. Entomol. 123: 23-27.
33. Li, D.X., J. Tian and Z.R. Shen. 2007. Functional response of the predator *Scolothrips takahashii* to hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis*: Effect of age and temperature. BioControl 52: 41-61.
34. Mack, T.P. and Z. Smilowitz. 1982a. Using temperature-mediated functional response models to predict the impact of *Coleomegilla maculata* (DeGeer) adults and third instar larvae on green peach aphids. Environ. Entomol. 11: 46-52.
35. Mack, T.P. and Z. Smilowitz. 1982b. CMACSIM, a temperature dependent predator–prey model simulating the

impact of *Coleomegilla maculata* (De Geer) on green peach aphids on potato plants. Environ. Entomol. 11: 1193-1201.
36. Madadi, H., E.M. Parizi, H. Allahyari and A. Enkegaard. 2011. Assessment of the biological control capability of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) using functional response experiments. J. Pest Sci. 84(4): 447-455.
37. Mahdian, K., I. Vantornhout, L. Tirry and P. De Clercq. 2006. Effects of temperature on predation by the stinkbugs *Picromerus bidens* and *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) on noctuid caterpillars. Bull. Entomol. Res. 96: 489-496.
38. McCoull, C.J., R. Swain and R.W. Barnes. 1998. Effect of temperature on the functional response and components of attack rate in *Naucoris congrex* Stal (Hemiptera: Naucoridae). Aust. J. Entomol. 37: 323-327.
39. Moura, R., S. Cabral and A.O. Soares. 2006. Does pirimicarb affect the voracity of the euriphagous predator, *Coccinella undecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae)? Biol. Control 38(3): 363-368.
40. Musser, F.R. and A.M. Shelton. 2003. Predation of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs in sweet corn by generalist predators and the impact of alternative foods. Environ. Entomol. 32(5): 1131-1138.
41. Pervez, A. and O. Omkar. 2005. Functional responses of Coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. J. Insect Sci. 5(1): 1-6.
42. Razmjou, J., S. Moharramipour, Y. Fathipour and S.Z. Mirhoseini. 2006. Effect of cotton cultivar on performance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) in Iran. J. Econ. Entomol. 99: 1820-1825.
43. Roh, H.S., J. Kim, E.S. Shin, D.W. Lee, H.Y. Choo and C.G. Park. 2014. Bioactivity of sandalwood oil (*Santalum austrocaledonicum*) and its main components against the cotton aphid, *Aphis gossypii*. J. Pest Sci. DOI: 10.1007/s10340-014-0631-1.
44. SAS Institute. 1999. SAS/STA User's guide, version 1.3.0.161. SAS Institute, Cary, NC, USA.
45. Satar, S., U. Kersting and N. Uygun. 2005. Effect of temperature on development and fecundity of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on cucumber. J. Pest Sci. 78(3): 133-137.
46. Timms, J.E., T.H. Oliver, N.A. Straw and S.R. Leather. 2008. The effects of host plant on the Coccinellid functional response: Is the conifer specialist *Aphidecta obliterata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) better adapted to spruce than the generalist *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae)? Biol. Control 47: 273-281.
47. van Lenteren, J.C. and K. Bakker. 1976. Functional response in invertebrates. Neth. J. Zool. 26: 567-572.
48. Waage, J.K. 1990. Ecological theory and the selection of biological control agents. PP. 1-41. *In:* Mackeauer, M.L., E. Ehler and J. Roland (Eds.), Critical Issues in Biological Control, Intercept, Andover, UK.
49. Xia, J.Y., R. Rabbinge and W. van der Werf. 2003. Multistage functional responses in a lady beetle-aphid system scaling up from the laboratory to the field. Environ. Entomol. 32: 151-162.