

واکنش تابعی کفشدوزک *Hyperaspis polita* با تغذیه از شپشک آردآلود پنبه *Phenacoccus solenopsis*

صادق نخعی مدیح^۱، لیلا رمضانی^{۲*}، سارا زرغامی^۳ و نوشین زندی سوهانی^۲

۱ و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳. دانشجوی سابق دکتری حشره‌شناسی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱)

چکیده

واکنش تابعی یکی از بنیادی‌ترین حالت‌های ارتباطی میان طعمه و شکارگر بوده که رابطه میان شمار طعمه مورد حمله و تراکم اولیه طعمه را نشان می‌دهد و با عامل‌هایی مانند مدت‌زمان قرار گرفتن طعمه در دسترس شکارگر، میزان حمله موفق و زمان دسترسی شکارگر به طعمه مشخص می‌شود. کفشدوزک *Hyperaspis polita* Weise، یکی از عامل‌های کنترل بیولوژیک (بیولوژیک) شمار زیادی از گونه‌های مهم شپشک‌های آردآلود است. در این تحقیق واکنش تابعی لارو سن چهار، ماده و نر بالغ این کفشدوزک روی ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه *Phenacoccus solenopsis* Tinsley در شرایط آزمایشگاهی (دمای بهینه 30 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۴:۱۰ ساعت تاریکی: روشنائی) بررسی شد. تراکم‌های استفاده‌شده برای هر سه مرحله رشدی شکارگر شامل ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ عدد طعمه بود. بر پایه نتایج رگرسیون لجستیک واکنش تابعی لارو سن چهار، ماده و نر بالغ *H. polita* از نوع دوم تعیین شد. توان جستجوگری (a)، زمان دستیابی (T_h) و بیشترین نرخ حمله (T/T_h)، توسط مدل راجرز برای لارو سن چهار به ترتیب 0.0196 ± 0.0029 بر ساعت، 3.3262 ± 0.4551 ساعت و 7.2 طعمه، برای ماده بالغ به ترتیب 0.0131 ± 0.00238 بر ساعت، 12.013 ± 0.2624 ساعت و 1.99 طعمه به دست آمد. بر پایه نتایج این تحقیق لارو سن چهار و ماده بالغ کفشدوزک *H. polita* کارایی بالایی برای کنترل شپشک آردآلود پنبه داشته و می‌توان از آن‌ها در امر کنترل بیولوژیک این آفت مهم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: توان جستجوگری، زمان دستیابی، کنترل بیولوژیک.

Functional response of different life stages of *Hyperaspis polita* feeding on cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis*

Sadegh Nakhai Madih¹, Leila Ramezani^{2*}, Sara Zarghami³ and Nooshin Zandi-Sohani²

1, 2. M. Sc. Student and Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ramin Agriculture and Natural Resources, University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

3. Former Ph. D. Student, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

(Received: Jun. 12, 2016 - Accepted: Nov. 21, 2016)

ABSTRACT

The functional response is the most basic form of predator-prey interaction and describes the relationship between the number of prey attacked and the initial prey density. *Hyperaspis polita* Weise (Col. Coccinellidae) is one of the most important predators of some species of mealybugs and is collected from some parts of Iran especially Khuzestan province. In this research, the functional response of the fourth instar larvae, females and males of this predator to varying densities of female cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley was assessed in a growth chamber ($30 \pm 1^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ R.H. and photoperiod of 14:10 (L:D) h). A cubic logistic regression between the proportion of prey killed and initial prey densities was performed to determine the shape (Type II or Type III) of functional response. Based on the logistic regression, functional response type II was determined for all predator stages. The attack rate (a), handling time (T_h), and theoretical maximum predation rate (T/T_h) were estimated using Roger's model to be $0.0196 \pm 0.0029 \text{ h}^{-1}$, $3.3262 \pm 0.4551 \text{ h}$, and 7.2 prey/d for fourth instar larvae, $0.0131 \pm 0.00238 \text{ h}^{-1}$, $3.4765 \pm 0.7419 \text{ h}$, and 6.9 prey/d for adult females and $0.0195 \pm 0.00528 \text{ h}$, $12.013 \pm 0.2624 \text{ h}^{-1}$, and 1.99 prey/d for adult males respectively. According to our results, the fourth instar larvae and the adult females of *H. polita* can be applied as an effective biological control agent against *P. solenopsis*.

Keywords: Attack rate, biological control, handling time.

مقدمه

شپشک‌های آردآلود (Pseudococcidae Hemiptera) در بسیاری از مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان انتشار داشته، دامنه میزبانی گسترده‌ای داشته و به طیف پرشماری از درختان جنگلی، درختان میوه، گیاهان زینتی، گیاهان زراعی و غیر زراعی حمله می‌کنند (Ben-Dov et al., 2014). شپشک آردآلود پنبه *Phenacoccus solenopsis* Tinsley یکی از آفات بالقوه با پراکندگی جغرافیایی وسیع است. این شپشک با تشکیل کلنی روی بخش‌های مختلف گیاه، مکیدن شیرۀ گیاهی، تزریق سم به گیاه و تولید میزان زیادی عسلک که میوه و برگ را می‌پوشاند، رشد قارچ مولد دوده را سبب شده و با کاهش کیفیت محصول، توقف رشد گیاه، تغییر شکل و ریزش برگ و میوه خسارت اقتصادی به محصول وارد می‌کنند (Godfrey et al., 2002). این شپشک بومی آمریکا بوده (Tinsley, 1898) و تاکنون به‌عنوان یک آفت بالقوه از ۳۵ ناحیه جغرافیایی مختلف گزارش شده است (Abbas, 2005; Akintola & Ande, 2009; Nagrare et al., 2009; Wang et al., 2010). این شپشک نخستین بار در ایران از بندرعباس و میناب از روی درختچه‌های ختمی چینی *L. Hibiscus rosa-sinensis* گزارش شد (Moghaddam & Bagheri, 2010). پس از آن با آلودگی شدید روی درختچه‌های ختمی چینی از دزفول، اهواز، ماهشهر، بندرعباس و جزیره کیش گردآوری و گزارش شد (Mossadegh et al., 2012). این آفت در ایران دامنه میزبانی گسترده‌ای داشته و تاکنون از روی ۱۲۸ گونه میزبان گیاهی گزارش شده است (Mossadegh et al., 2013). کفشدوزک *Hyperaspis polita* Weise پراکندگی گسترده‌ای در ایران و جهان دارد و تاکنون از لبنان، نواحی ساحل شرق مدیترانه، ترکیه، پاکستان و نواحی خشک جنوب غرب آسیا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دشمنان طبیعی شپشک‌های آردآلود به‌ویژه شپشک آردآلود پنبه گزارش شده است (Mossadegh et al., 2012; Ramindo & van Harten, 2000). این کفشدوزک در ایران از استان‌های مختلف روی گونه‌های چندی از شپشک‌های آردآلود گزارش شده است (Asadeh &

Mossadegh, 1989; Hesami & Fallahzade, 2005; Lotfalizadeh & Ahmadi, 2000; Novin et al., 2000; Mossadegh et al., 2012; Alizadeh et al., 2013; Fallahzade et al., 2008 & 2013). تحقیقات اولیه (Novin et al., 2000; Mossadegh et al., 2012) نشان می‌دهد این کفشدوزک به‌خوبی با شرایط آب‌وهوای گرم استان سازگاری داشته، پرخوری زیاد داشته، از دامنه پرشماری از شپشک‌های آردآلود موجود در منطقه تغذیه می‌کند و به نظر می‌رسد که می‌تواند به‌عنوان یک عامل مناسب کنترل بیولوژیک (بیولوژیک) برای مهار شپشک‌های آردآلود معرفی شود. Seyfollahi et al. (2016) ویژگی‌های بیولوژیک و فراسنجه (پارامتر)های جدول زندگی کفشدوزک *H. polita* را با تغذیه از شپشک آردآلود پنبه روی میزبان گیاهی ختمی چینی در سه دما در شرایط آزمایشگاهی بررسی کرد. نتایج وی نشان داد که دمای ۳۰ درجه سلسیوس بهترین دما برای نمو و تولیدمثل این کفشدوزک است. همچنین Seyfollahi (2015) کارایی لارو سن چهار، نر و ماده بالغ این کفشدوزک را با تغذیه از پوره سن یک تا سه شپشک آردآلود پنبه روی میزبان گیاهی ختمی چینی بررسی کرد و گزارش داد، این کفشدوزک کارایی بالایی در کنترل مراحل پورگی دارد.

یکی از معیارهایی که برای بررسی کارایی شکارگرها استفاده می‌شود واکنش تابعی آن‌هاست. واکنش تابعی در حقیقت میزان شکار طعمه در تراکم‌های مختلف توسط شکارگر را نشان می‌دهد، به سه نوع اصلی اول، نوع دوم و نوع سوم تقسیم می‌شود (Holling, 1966). واکنش تابعی رابطه بین میزان حمله یک شکارگر را با تراکم شکار توصیف می‌کند که ممکن است با افزایش تراکم نسبت شکار کشته‌شده ثابت بماند (واکنش تابعی نوع اول، مستقل از تراکم) یا به شکل سهمی کاهش یابد (وابسته معکوس به تراکم، واکنش تابعی نوع دوم) و یا افزایش یابد (واکنش تابعی نوع سوم، در یک محدوده مشخص وابسته به تراکم) (Holling, 1966). اگرچه واکنش تابعی مراحل مختلف زیستی کفشدوزک‌های شکارگر چندی روی طعمه‌های

سطح گرسنگی، شکارگرها به مدت دوازده ساعت در ویال‌های آپن دورف ۱/۵ میلی‌لیتری نگهداشته شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت هر یک از مراحل مورد بررسی حذف و شمار طعمه خورده شده ثبت شد. تجزیه داده‌های واکنش تابعی با استفاده از روش دو مرحله‌ای جولیانو صورت گرفت (Juliano, 2001). در آغاز برای تعیین نوع واکنش تابعی از رگرسیون لجستیک و با استفاده از تابع چندجمله‌ای (رابطه ۱) نسبت شپشک ماده بالغ خورده شده توسط شکارگرها به شمار اولیه شپشک ماده استفاده شد (Juliano, 2001).

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

در این رابطه N_0 شمار طعمه اولیه ارائه شده، N_a شمار طعمه خورده شده توسط شکارگر و P_0, P_1, P_2, P_3 به ترتیب ضرایب‌های خطی، درجه یک، درجه دو و درجه سه هستند که با رویه CATMOD در برنامه آماری SAS 9.2 محاسبه شدند (SAS Institute, 2003). اگر $P_1 < 0$ و $P_2 > 0$ باشد واکنش شکارگر نوع دوم و چنانچه $P_1 > 0$ و $P_2 < 0$ واکنش تابعی نوع سوم خواهد بود.

پس از تعیین نوع واکنش تابعی، فراسنجه‌های اصلی واکنش تابعی شامل توان جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) با استفاده از رگرسیون غیرخطی کمترین مربعات با رویه NLIN برای سه مرحله رشدی کفشدوزک برآورد شد (SAS Institute, 2003). از آنجایی که نوع واکنش تابعی برای هر سه مرحله رشدی کفشدوزک نوع دوم تعیین شد، از مدل جستجوگری تصادفی راجرز (Rogers, 1972) برای تعیین فراسنجه‌های واکنش تابعی نوع دوم استفاده شد.

$$N_a = N_0 \{1 - \exp[a(T_h N_0 - T)]\} \quad (2)$$

در این مدل a عبارت از میزان حمله یا توان جستجوگری شکارگر، T_h زمان دستیابی و T زمان کل آزمایش که در تحقیق ۲۴ ساعت است.

به منظور مقایسه فراسنجه‌های واکنش تابعی این سه مرحله رشدی شکارگر که واکنش یکسانی داشتند از یک تابع ترکیبی استفاده شد (Juliano, 2001).

$$N_a = \{1 - \exp[-(a + D_a(j)) (T - (T_h + D_{T_h}(j)) N_a)]\} \quad (3)$$

مختلف بررسی شده است (Madadi et al., 2011; Bayoumy, 2011; Abdollahi Ahi et al., 2012; Davoodi Dehkordi & Sahragard, 2013; Fotukkiaii & Sahragard, 2013; Zarghami et al., 2016 & 2014) اما تاکنون درزمینه واکنش تابعی کفشدوزک *H. polita* با تغذیه از ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه هیچ تحقیقی صورت نگرفته است. ماده بالغ شپشک افراد تولیدمثل کننده در کلنی بوده و شناخت کارایی کفشدوزک روی این مرحله رشدی شپشک نقش مهمی در کنترل آن دارد. لذا در این پژوهش میزان توان این شکارگر مهم در کنترل شپشک آردآلود پنبه با ارزیابی واکنش تابعی لارو سن چهار، ماده و نر بالغ آن با تغذیه از ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه بررسی شد. امید است نتایج به دست آمده از این پژوهش امکان استفاده این شکارگر را در برنامه مدیریت تلفیقی شپشک آردآلود پنبه فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

جمعیت اولیه شپشک آردآلود پنبه و کفشدوزک *H. polita* از روی درختچه‌های ختمی چینی در اهواز فراهم شد و در آزمایشگاه از غده‌های سیب‌زمینی جوانه زده *Solanum tuberosum* برای پرورش انبوه شپشک استفاده شد. کلنی کفشدوزک نیز روی این شپشک‌ها پرورش یافت. کلنی کفشدوزک و شپشک در ژرمیناتور در دمای بهینه 21 ± 30 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دوره نوری ۱۰:۱۴ ساعت (تاریکی: روشنایی) نگهداری و پس از گذشت سه نسل، از کفشدوزک‌ها برای انجام آزمایش‌های مربوطه استفاده شد (Seyfollahi et al., 2016).

به منظور انجام واکنش تابعی، بر پایه آزمایش‌های اولیه برحسب میزان مصرف هر مرحله رشدی شکارگر، شش تراکم (هجده تکرار از هر تراکم) شامل تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۳۲ ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه، در ظرف‌های آزمایش پلاستیکی به ابعاد $3 \times 7 \times 9$ سانتی‌متر حاوی دیسک غده سیب‌زمینی قرار گرفت و به‌طور جداگانه در اختیار لارو سن چهار (کمتر از ۲۴ ساعت سن) و کفشدوزک نر و ماده بالغ (پنج روزه و جفت‌گیری کرده) گذاشته شد. به منظور استاندارد شدن

Oracella acuta شپشک با شکار از شپشک *ryuguus* Kamiya (Li *et al.*, 2005) Lobdell، واکنش تابعی لارو سن دو و چهار کفشدوزک *Nephus includes* Kirsch با تغذیه از شپشک‌های آردآلود *Planococcus citri* Risso و *Planococcus ficus* Signoret (Milonas *et al.*, 2011)، لارو سن چهار و ماده بالغ کفشدوزک *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant با تغذیه از پوره‌های سن دو، سه و ماده بالغ شپشک آردآلود مرکبات (Abdollahi Ahi *et al.*, 2012)، واکنش لارو سن چهار، نر و ماده بالغ کفشدوزک تغذیه از پوره سن یک، دو و سه شپشک آردآلود پنبه روی میزبان گیاهی ختمی چینی (Seyfollahi, 2015)، واکنش تابعی ماده بالغ کفشدوزک *Nephus arcuatus* Kapur با تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب *Nipaeococcus viridis* Newstead (Zarghami *et al.*, 2014) و لارو سن یک، دو و نر بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* با تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب (Zarghami *et al.*, 2016) که با نتایج این پژوهش بسیار همخوانی دارد.

با استفاده از معادله راجرز توان جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) لارو سن چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *H. polita* نسبت به ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه محاسبه شد (جدول ۲). توان جستجوگری یا به عبارت دیگر میزان کشف طعمه برای لارو سن چهار در کمترین میزان خود (۰/۱۳۱ بر ساعت) و برای ماده بالغ (۰/۱۹۶ بر ساعت) و نر بالغ کفشدوزک (۰/۱۹۵ بر ساعت) در بیشترین میزان داشت. کمترین میزان زمان دستیابی به طعمه به ترتیب مربوط به لارو سن چهارم (۳/۳۲۶۲ ساعت) و پس از آن ماده بالغ (۳/۴۷۶۵ ساعت) و بیشترین زمان دستیابی مربوط به نر بالغ کفشدوزک (۱۲/۰۱۲۶ ساعت) بود. Seyfollai (2015) توان جستجوگری لارو سن چهار، نر و ماده بالغ کفشدوزک *H. polita* را با تغذیه از پوره سن یک به ترتیب ۰/۱۳۰، ۰/۱۲۹ و ۰/۱۲۸۵ بر ساعت، پوره سن دو به ترتیب ۰/۱۲۵، ۰/۱۱۲۱ و ۰/۰۶۲ بر ساعت و پوره سن سه ۰/۰۱۳، ۰/۰۹۶۸ و ۰/۰۴۹۱ بر ساعت گزارش داده است. همچنین زمان دستیابی لارو سن چهار، نر و ماده بالغ کفشدوزک را به پوره سن یک به ترتیب ۰/۱۱۰، ۰/۱۸۶۸ و ۰/۲۹۳۹ ساعت، پوره سن

در اینجا ز شاخص متغیر است که میزان آن برای دسته اول داده‌ها برابر با صفر و برای دسته دوم داده‌ها برابر با یک است. با استفاده از این معادله فراسنجه‌های D_{Th} و D_a تفاوت T_h و a بین دو دسته داده مشخص می‌کند. چنانچه زمان دستیابی جمعیت اول T_h باشد، زمان دستیابی جمعیت دوم $T_h + D_{Th}$ در نظر گرفته می‌شود. برای تشخیص تفاوت معنادار بین زمان‌های دستیابی این دو جمعیت باید ثابت شود که D_{Th} با صفر تفاوت معنادار دارد. اگر D_{Th} با صفر تفاوت معنادار نداشته باشد نتیجه این خواهد بود که T_h و $T_h + D_{Th}$ تفاوت معناداری با یکدیگر نداشته و در نتیجه زمان دستیابی دو شکارگر تفاوت معناداری با یکدیگر نخواهند داشت (Juliano, 2001). بیشترین نرخ حمله (T_h/T) با استفاده از زمان دستیابی افراد کفشدوزک *H. polita* در طی ۲۴ ساعت آزمایش محاسبه شد (Hassell, 2000). برای رسم منحنی‌های واکنش تابعی از نرم‌افزار Sigmaplot 11.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی واکنش تابعی لارو سن چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *H. polita* نسبت به ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه نشان داد با افزایش تراکم طعمه، شمار طعمه خورده شده توسط هر سه مرحله رشدی شکارگر افزایش و نسبت طعمه خورده شده N_a/N_0 کاهش می‌یابد (شکل ۱). برازش رگرسیون لجستیک بین تراکم‌های مختلف طعمه و شمار طعمه خورده شده توسط لارو سن چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک واکنش تابعی نوع دوم را نشان داد ($P < 0.05$) (جدول ۱). به‌طور همسان در بسیاری از بررسی‌های صورت گرفته واکنش تابعی کفشدوزک‌ها نسبت به تغییر تراکم میزبان‌شان از نوع دوم تعیین شده است (Bayoumy, 2011; Dehkordi & Sahragard, 2013; Sahragard & Fotukiaii, 2013). اگرچه با افزایش تراکم طعمه درصد شکار آن‌ها کاهش می‌یابد اما بررسی‌ها نشان می‌دهد آن‌ها توانایی بالایی در کنترل طعمه خود در طبیعت دارند. واکنش نوع دوم در بسیاری از کفشدوزک‌های شپشک‌خوار که رقیب کفشدوزک *H. polita* در طبیعت‌اند نیز مشاهده شده به‌عنوان مثال، واکنش تابعی لارو سن یک تا چهار و بالغ *Nephus*

همچنین زمان دستیابی نر بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* کمتر از ماده بالغ بود. اگرچه در بررسی *Li et al.* (2005) مشاهده شد که با افزایش مرحله لاروی از لارو سن یک تا بالغ *N. ryuguus* توان جستجوگری افزایش و زمان دستیابی کاهش می‌یابد. بیشترین نرخ حمله (IT_h) یا نسبت کل زمان آزمایش به زمان دستیابی به‌عنوان شاخصی مناسب به‌منظور تعیین بیشترین شکارگری یک شکارگر در روز استفاده می‌شود. بیشترین میزان حمله توسط لارو سن چهار (۷/۲ طعمه) و پس از آن ماده بالغ (۶/۹ طعمه) و کمترین آن توسط نر بالغ کفشدوزک (۲ طعمه) مشاهده شد. بیشتر بودن نرخ شکارگری لارو سن چهار نسبت به دو مرحله رشدی دیگر به دلیل نیاز بیشتر لارو سن چهار به انرژی بیشتر برای رشد و رسیدن به یک وضعیت مناسب برای شفیره شدن و در ماده بالغ به دلیل نیاز بیشتر انرژی برای تولید تخم و تخم‌گذاری است (Hodek & Honek, 1996). Seyfollai (2015) میزان شکارگری لارو سن چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *H. polita* را با تغذیه از پوره سن یک به ترتیب ۲۱۸/۸، ۷۰/۱۱ و ۳۰/۱۲ طعمه، با تغذیه از پوره سن دو به ترتیب ۱۲۸/۴۷، ۳۹/۲۸ و ۲۲/۷۶ طعمه و با تغذیه از پوره سن سه به ترتیب ۸۲/۷۶، ۲۵ و ۶/۸۴ طعمه در طی ۲۴ ساعت گزارش داده است. دلیل اصلی شمار کمتر طعمه خورده‌شده توسط شکارگرها در این پژوهش بزرگ‌تر بودن جثه ماده بالغ شپشک است. مقایسه میزان پرخوری لارو سن چهار و بالغین کفشدوزک *H. polita* با رقبا خود در کنترل شپشک‌های آردآلود نشان می‌دهد، این شکارگر ظرفیت پرخوری قابل‌توجهی دارد. به‌عنوان مثال: میانگین تغذیه لارو سن چهار و حشره‌های بالغ کفشدوزک *C. montrouzieri* بدون تفکیک میزان تغذیه نر و ماده از یکدیگر، با تغذیه از ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه به ترتیب ۳/۷ و ۸/۶۲ طعمه در روز (Kaur & Virk, 2012)، لارو سن چهار کفشدوزک *N. includens* با تغذیه از ماده بالغ شپشک *P. ficus* و *P. citri* به ترتیب ۱/۴۴ و ۲/۴۳ طعمه و لارو سن چهار و ماده بالغ کفشدوزک *C. montrouzieri* با تغذیه از شپشک ماده بالغ *P. citri* به ترتیب ۱۳/۵ و ۸/۶۷ طعمه گزارش شده است (Abdolahi Ahi et al., 2012).

دو به ترتیب ۰/۳۴۵۵، ۰/۶۱۲ و ۰/۹۶۸۵ ساعت و پوره سن سه ۰/۸۴، ۱/۰۸۱ و ۳/۵۶۷۴ ساعت گزارش شده است. زمان دستیابی یعنی زمان صرف‌شده توسط شکارگر برای فعالیت‌هایی مانند به دام انداختن، تحت کنترل درآوردن، کشتن، خوردن و هضم کردن طعمه (Tompson, 1975). از مقایسه نتایج پژوهش جاری با نتایج به‌دست‌آمده توسط Seyfollai (2015) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که جثه بزرگ‌تر ماده بالغ شپشک نسبت به مراحل پورگی سبب شد تا زمان دستیابی به طعمه توسط هر سه مرحله رشدی شکارگر در پژوهش جاری طولانی‌تر مشاهده شود.

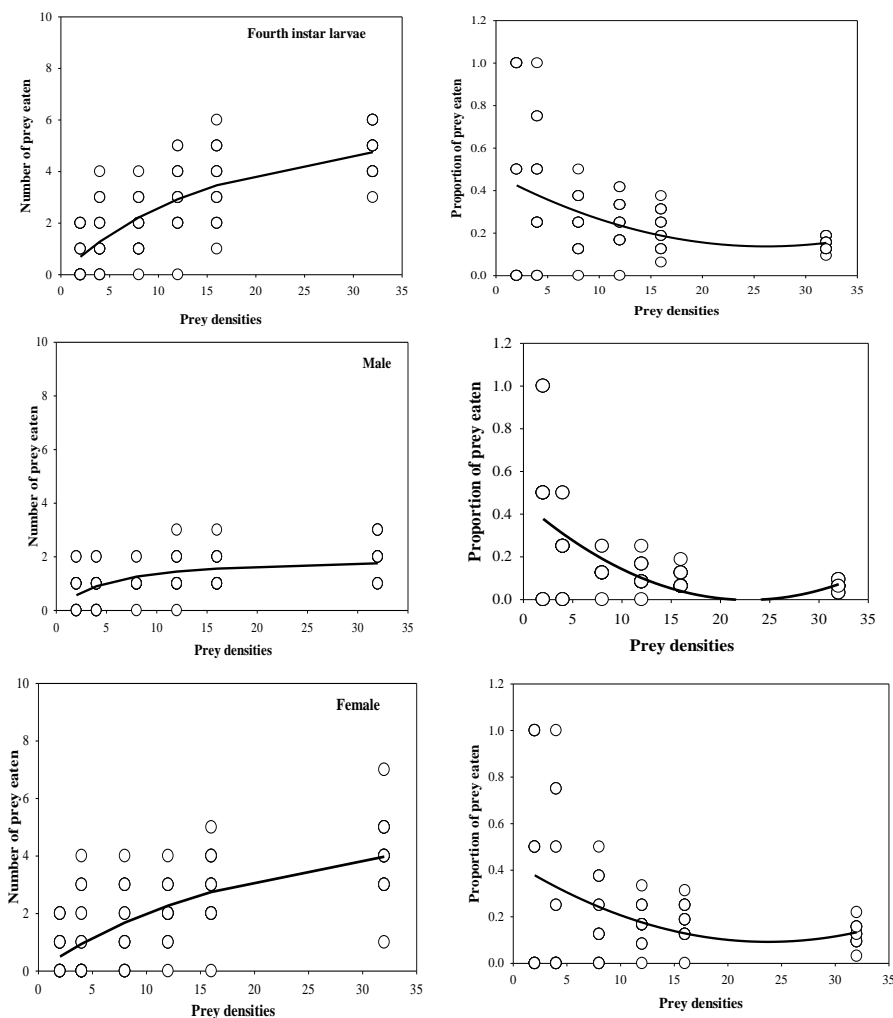
نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه فراسنجه‌های واکنش تابعی نشان داد تفاوت معناداری در توان جستجوگری لارو سن چهار- ماده بالغ، لارو سن چهار- نر بالغ و ماده بالغ- نر بالغ کفشدوزک در یافتن طعمه وجود ندارد. همچنین نتایج نشان داد زمان دستیابی لارو سن چهار به‌طور معناداری کمتر از نر بالغ و همچنین ماده بالغ به‌طور معناداری کمتر از نر بالغ کفشدوزک است اگرچه میان زمان دستیابی لارو سن چهار و ماده بالغ تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۳). به‌طور همسان Seyfollai (2015) گزارش داد، توان جستجوگری افراد کفشدوزک *H. polita* در جستجوی طعمه‌ها اختلاف معناداری با یکدیگر ندارد اما زمان دستیابی لارو سن چهار کفشدوزک به هر سه مرحله رشدی طعمه (پوره سن یک، دو و سه شپشک) به‌طور معناداری بیشتر از ماده بالغ و ماده بالغ بیشتر از نر بالغ بود. همچنین همسان نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، *Milonas et al.* (2011) گزارش کردند توان جستجوگری لارو سن دو و لارو سن چهار کفشدوزک *N. includens* در جستجوی پوره سن دو و ماده بالغ شپشک *P. ficus* و *P. citri* تفاوت معناداری ندارد اما زمان دستیابی لارو سن چهار کمتر از لارو سن دو بود (Zarghami et al., 2016) نیز مشاهده کردند توان جستجوگری لارو سن یک تا چهار و افراد بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* با تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب تفاوت معناداری با یکدیگر ندارد اما با افزایش سن لاروی از لارو سن یک تا چهار زمان دستیابی به طعمه به‌طور معناداری کاهش یافت.

جدول ۱. نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک نسبت طعمه خورده شده توسط لارو سن چهارم، ماده و نر بالغ کفشدوزک *H. polita* بر تعداد اولیه طعمه ارائه شده

Table 1. Results of logistic regression analysis of proportion of prey eaten by the 4th instar larvae, adult females and males of *H. polita* as a function of initial prey densities

Pradator life stage	Parameter	Estimate	SE	X ²	p
4 th instar larvae	Constant	0.3181	0.472	0.45	0.5003
	Linear	-0.2770	0.1342	4.26	0.039
	Quadratic	0.0158	0.0101	2.42	0.1195
	Cubic	-0.00029	0.000201	2.02	0.1554
Adult female	Constant	0.3900	0.4918	0.63	0.4278
	Linear	-0.4078	0.1437	8.06	0.0045
	Quadratic	0.0258	0.011	5.55	0.0184
	Cubic	-0.00048	0.000218	4.84	0.0277
Adult male	Constant	0.5328	0.5223	1.04	0.3077
	Linear	-0.4892	0.1616	9.17	0.0025
	Quadratic	0.0274	0.0126	4.69	0.0304
	Cubic	-0.00048	0.000254	3.51	0.0612

X²: Chi squared; P: the probability level; SE: standard error



شکل ۱. منحنی واکنش تابعی (چپ) و نسبت طعمه خورده شده (راست) لارو سن چهارم، نر و ماده بالغ کفشدوزک *H. polita* روی تراکم‌های مختلف ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه. نقاط سفید رنگ داده‌های مشاهده شده و خطوط با استفاده از معادله راجرز پیش‌بینی شده است.

Figure 1. Functional response curve (left) and the proportion of prey consumed (right) by 4th instar larvae, adult male and female *Hyperaspis polita* on different densities of adult female of *P. solenopsis*. Symbols are observed data and lines were predicted using Rogers model.

جدول ۲. فراسنجه‌های به‌دست‌آمده از مدل راجرز برای واکنش تابعی لارو سن چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *H. polita* روی ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه

Table 2. Estimated parameters by the Rogers equation for 4th instar larvae, adult female and male of *H. polita* on adult female of *P. solenopsis*

Pradator life stage	Parameter	Estimate	SE	95% CI		T/T _h	r ²
				Uper	Lower		
4 th instar larvae	a'	0.0196	0.00298	0.0255	0.0137	7.215	0.856
	Th	3.3262	0.4551	4.2284	2.426		
Adult female	a'	0.0195	0.00238	0.0178	0.00853	6.903	0.755
	Th	3.4765	0.7419	4.9474	2.0056		
Adult male	a'	0.0131	0.00528	0.030	0.00906	1.998	0.749
	Th	12.0126	1.2624	14.5153	9.5098		

جدول ۳. میزان فراسنجه‌های D_{Th} و D_a برآوردشده برای مقایسه پارامترهای واکنش تابعی نوع دوم لارو سن چهار، نر و ماده بالغ کفشدوزک *H. polita* روی ماده بالغ شپشک آردآلود پنبه

Table 3. Estimated D_a and D_{Th} for comparing type II functional response parameters of 4th instar larvae, adult female and males of *H. politae* on adult female of *P. solenopsis*

Comparison stage	Estimate	Approximate SE	Approximate 95% Confidence	
			Lower	Upper
4 th instar-female adult				
D_a	-0.00009	0.00767	-0.0152	0.0150
D_{Th}	8.6862	1.7757	5.1859	12.1865*
4 th instar -Male adult				
D_a	-0.00657	0.00384	-0.0141	0.000995
D_{Th}	0.1503	0.8619	-1.5486	1.8492
Female adult-Male adult				
D_a	-0.00674	0.00793	-0.0224	0.00887
D_{Th}	-8.5677	1.8899	-12.2931	-4.8423

* Significant difference parameters shown in bold face.

* رنگ تیره نشان‌دهنده وجود اختلاف معنادار میان تیمارها است.

نشان داد که کفشدوزک *H. polita* می‌تواند نقش مؤثری در کنترل شپشک آردآلود پنبه داشته باشد و به‌عنوان یک عامل مهم کنترل بیولوژیک در برنامه‌های کنترل تلفیقی آفات استفاده شود. به‌رحال از آنجایی که در شرایط صحرا عامل‌هایی مانند میزان گیاهی، شرایط آب و هوایی، رقابت و حضور میزبان جانشین ممکن است بر کارایی یک شکارگر اثر داشته باشد، انجام بررسی‌های صحرائی به‌منظور درک بهتر روابط شکار- شکارگری این دشمن طبیعی ضروری به‌نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی محترم دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در تأمین هزینه مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

واکنش‌های تابعی آزمون‌های ارزشمندی‌اند که با بررسی دقیق برخورد تغذیه‌ای شکارگر با شکار (طعمه) خود اطلاعات با اهمیتی را در اختیار محققان برای استفاده از دشمنان طبیعی در برنامه‌های کنترل بیولوژیک قرار می‌دهند. در این پژوهش واکنش تابعی لارو سن چهار، ماده و نر بالغ کفشدوزک *H. polita* نسبت به تراکم‌های مختلف شپشک آردآلود پنبه از نوع دوم تعیین شد. توان جستجوگری لارو سن چهار و ماده بالغ کفشدوزک به‌طور معناداری بیشتر و زمان دستیابی آن‌ها به طعمه به‌طور معناداری کمتر از مرحله زیستی نر بالغ کفشدوزک بود که علت آن میزان پرخوری و فعالیت بالای لاروهای سن چهار و ماده بالغ نسبت به نر بالغ کفشدوزک *H. polita* بود. بررسی‌های آزمایشگاهی انجام‌شده در این پژوهش

REFERENCES

1. Abbas, G., Arif, M. J. & Saeed, S. (2005). Systematic status of a new species of genus *Phenacoccus* Cockerell (Pseudococcidae), a serious pest of cotton, *Gossypium hirsutum* in Pakistan. *Pakistan Entomologist*, 27, 83-84.

2. Abdollahi Ahi, Gh., Afshari, A., Baniameri, V., Dadpour Moghanloo, H., Asadeh, Gh. & Yazdani, M. (2012). Functional response of *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Col.: Coccinellidae) on citrus mealybug *Planococcus citri* (Risso) (Hom.: Pseudococcidae) in laboratory conditions. *Journal of Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 35(1), 1-15. (in Farsi)
3. Akintola, A. J. & Ande, A. T. (2009). Pest status and ecology of five mealybug (Family: Pseudococcidae) in Southern Guinea Savanna of Nigeria. *Journal of Entomological Research*, 33(1), 9-13.
4. Alizadeh, M. S., Mossadegh, M. S. & Esfandiari, M. (2013). Natural enemies of *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) and their population fluctuations in Ahvaz, southwest of Iran. *Journal of Crop Protection*, 2 (1), 13-21.
5. Asadeh, Gh. & Mossadegh, M. S. (1989). Important natural enemies of mealybugs (*Pseudococcus spp.*) in Khuzestan Province. *Scientific Journal of Agriculture*, 16(1-2), 46-52. (in Farsi)
6. Bayoumy, M. (2011). Functional behavior of the coccinellid *Nephus includens* (Col.: Coccinellidae) in response to *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) with particular emphasis on larval parasitism. *Environmental Entomology*, 40 (4), 835-843.
7. Ben-Dov, Y., Miller, D. R. & Gibson, G. A. P. (2014). ScaleNet. Retrieved August 22, 2014, from <http://www.sel.barc.usda.gov/scalenet/scalenet.htm>.
8. Bayoumy, M. H. (2011). Foraging behavior of the coccinellid *Nephus includens* (Coleoptera: Coccinellidae) in response to *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) with particular emphasis on larval parasitism. *Environmental Entomology*, 40 (4), 835-843.
9. Davoodi Dehkordi, S. & Sahragard, A. (2013). Functional Response of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) to Different Densities of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) in an Open Patch Design. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, 651-659.
10. Fallahzade, M., Shojaei, M., Ostovan, H. & Kamali, K. (2008). Natural enemies of mealybug *Planococcus ficus* (Signoret) (Hem.: Pseudococcidae) in vineyards of Fars Province. In: *Proceeding of 18th Iranian Plant Protection Congress*, 24-27 Aug., Hamedan, Iran, p.79. (in Farsi)
11. Fallahzadeh, M., Abdmaleki, R. & Saghaei, N. (2013). Contribution to the Knowledge of the Ladybird beetles (Coleoptera, Coccinellidae), Predators of Mealybugs (Hemiptera, Pseudococcidae) in Hormozgan Province, Southern Iran. *Linzer Biologische Beiträge*, 45(1), 673-679.
12. Fotukiaii, S. M. & Sahragard, A. (2013). Functional response of *Serangium montazerii* (Col.: Coccinellidae) to different densities of *Dialeurodes citri* (Hem.: Aleyrodidae): an open patch approach. *Journal of Entomological Society of Iran*, 32 (2), 1-7.
13. Godfrey, K., Daane, K., Bentley, W., Gill, R. & Malakar-Kuenen, R. (2002). *Mealybugs in California vineyards*. University of California, Agricultural and Natural Resource Publication 21612, Oakland, California.
14. Hassell, M. P. (2000). *The spatial and temporal dynamics of host parasitoid interactions*, Oxford University Press, Oxford, UK.
15. Hesami, Sh. & Fallahzade, M. (2005). Natural enemies of *Nipaecoccus viridis* (Newstead) in Jahrom region. In: *Proceeding of 16th Iranian Plant Protection Congress*, 28-1 Aug.-Sept., Tabriz, Iran, p.50. (in Farsi)
16. Hodek, I. & Honek, A. (1996). *Ecology of Coccinellidae*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
17. Holling, C. S. (1966). Functional response of invertebrate predators to prey density. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 48, 1-81.
18. Juliano, S. A. (2001). Nonlinear curve fitting: predation and functional response curve. In: Scheiner S. M. & Gurevitch, J. (Ed). *Design and analysis of ecological experiments*. (pp. 178-216.) Oxford University Press, New York.
19. Kaur, H & Virk, J. S. (2012) Feeding potential of *Cryptolaemus montrouzieri* against the mealybug *Phenacoccus solenopsis*. *Phytoparasitica*, 40, 131-136.
20. Lee J. H. & Kang, T. J. (2004). Functional response of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) to *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in the laboratory. *Biological Control*, 31, 306-310.
21. Lotfalizadeh, H. A. & Ahmadi, A. A. (2000). Natural enemies of cypress tree mealybug, *Planococcus vovae* (Nasonov), and their parasitoids in Shiraz, Iran. *Iran Agricultural Research*, 19 (2), 145-154.
22. Madadi, H., Mohajeri Parizi, E., Allahyari, H. & Enkegaard, A. (2011). Assessment of the biological control capability of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) using functional response experiments. *Journal of pest science*, 84, 447-455.
23. Milonas, P. G., Kontodimas, D. Ch. & Martino, A. F. (2011). A predators functional response: influence of prey species size. *Biological control*, 59, 141-146.

24. Moghaddam, M. & Bagheri, M. (2010). A new mealybug pest in the south of Iran, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 30 (1), 67-69.
25. Mossadegh, M. S., Vafaei, Sh., Zarghami, S., Kocheili, F., Farsi, A., Alizadeh, M. & Rezaei, N. (2012). Natural enemies of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (*Sternorrhyncha: Coccoidea: Pseudococcidae*) in Khuzestan. In: Proceeding of 20th Iranian Plant Protection Congress, 25-28 Aug., Shiraz, Iran, p.216. (in Farsi)
26. Mossadegh, M. S., Vafaei, Sh., Rezaei, N. & Zarghami, S. (2015). Inundation release of *Cryptolaemus montrouzieri* in order to biological control of cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* in north of Khuzestan. In: Proceedings of the National meeting on biocontrol in Agriculture and natural resources of Iran, Tehran, p. 70. (in Farsi)
27. Nagrare, V. S., Kranthi, S., Biradar, V. K., Zade, N. N., Sangode, V., Kakde, G., Shukla, R. M., Shivare, D., Khadi, B. M. & Kranthi, K. R. (2009). Widespread infestation of the exotic mealybug species, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton in India. *Bulletin of Entomological Research*, 99, 537-541.
28. Novin, M., Mossadegh, M. S., Karaminejad, M. & Ghaseminejad, M. (2000). Natural enemies of south mealybug in Khuzestan Province. In: Proceedings of 14th Iranian Plant Protection Conference, 5-8 Sept. Iran, Esfahan, p.264. (in Farsi)
29. Ramindo, A. A. C. & van Harten, A. (2000). An annotated of Coccinellidae (Insecta: Coleoptera) of Yemen. *Fauna of Arabia*, 18, 211-243.
30. Rogers, D. (1972). Random search and insect population models. *Journal of Animal Ecology*, 41, 369-383.
31. Thompson, D. J. (1975). Towards a predator-prey model incorporating age structure: the effects of predator and prey size on the predation of *Daphnia magna* by *Ischnura elegans*. *Journal of Animal Ecology*, 44, 907-916.
32. Tinsley, J. D. (1898). Notes on Coccidae, with descriptions of new species. *Canadian Entomologist*, 30, 317-320.
33. SAS Institute, JMP: A Guide to Statistical and Data Analysis, version 9.1. [Computer Software]. (2003). SAS Institute, Cary, NC.
34. Seyfollahi, F. (2015). Biology of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley and some biological characteristics of its predator *Hyperaspis polita* Weise in Ahvaz. MSc. Thesis. Faculty of Agriculture Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
35. Seyfollahi, F., Esfandiari, M., Mossadegh, M. S. & Rasekh, A. (2016) Life table parameters of the coccinellid *Hyperaspis polita*, a native predator in Iran, feeding on the invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19(3), 835-840.
36. Wang, Y. Watson, G.W. & Zhang, R. (2010). The potential distribution of an invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* and its threat to cotton in Asia. *Agriculture for Entomology*, 12, 403-416.
37. Zarghami, S., Mossadegh, M. S., Kocheili, F., Allahyari, H. & Rasekh, A. (2014). The assessment of prey stage preference and functional response of *Nephus arcuatus* Kapur on *Nipaeococcus viridis* (News). *Plant Pest Researches*, 4(3), 73-86. (in Farsi)
38. Zarghami, S., Mossadegh, M. S., Kocheili, F., Allahyari, H. & Rasekh, A. (2016). Functional responses of *Nephus arcuatus* Kapur (Coleoptera: Coccinellidae), the most important predator of spherical mealybug *Nipaeococcus viridis* (Newstead). *Psyche*, 1-9.