

## واکنش تابعی و عددی کفشدوزک *Nephus arcuatus* Kapur در تغذیه از تخم شپشک آرد آلود جنوب *Nipaeococcus viridis* (Newstead)

سارا ضرغامی<sup>\*</sup>، محمد سعید مصدق<sup>۱</sup>، فرحان کچیلی<sup>۱</sup>، حسین اللهیاری<sup>۲</sup>، آرش راسخ<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۳

### چکیده

در این تحقیق واکنش تابعی و عددی کفشدوزک *Nephus arcuatus* Kapur، یکی از مهم‌ترین شکارگرهای شپشک آردآلود جنوب *Nipaeococcus viridis* (Newstead) در استان خوزستان، مورد ارزیابی قرار گرفت. تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۴۰، ۶۵ و ۹۰ عدد از تخم شپشک به مدت ۳۳ روز در اختیار افراد ماده‌ی بالغ جفت‌گیری کرده (سه‌روزه) قرار گرفت. نوع واکنش تابعی و پارامترهای حاصل از آن به ترتیب با استفاده از رگرسیون لجستیک و رگرسیون غیرخطی محاسبه شدند. بر اساس نتایج رگرسیون لجستیک، واکنش تابعی ماده از نوع سوم تعیین شد. ضریب ثابت  $b$ ،  $0/0505$ ، زمان دستیابی ( $T_h$ )  $0/4163$  ساعت و بیشینه تئوریک نرخ شکارگری  $57/7$  تخم شپشک تعیین شد. نتایج حاصل از واکنش عددی نشان داد که با افزایش تراکم طعمه، تعداد تخم تولیدشده توسط ماده‌ها از ۱ تخم (در تراکم ۴) تا  $229/5$  تخم (در تراکم ۱۱۵) به‌طور غیرخطی افزایش یافت. در مقابل، با افزایش تراکم طعمه کارایی بهره‌برداری از طعمه کاهش یافت. با توجه به شباهت شکل منحنی واکنش تابعی و عددی کفشدوزک، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این دو پارامتر با یکدیگر مرتبط بوده و عملکرد آنها به صورت همزمان است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده رهاسازی با نسبت ۱:۱۱۵ (طعمه: شکارگر) در یک برنامه کنترل بیولوژیک، احتمالاً بتواند کنترل موفقی از آفت را فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: *Nipaeococcus viridis* *Nephus arcuatus*، واکنش تابعی، واکنش عددی.

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

\* نویسنده مسئول [zarghami@gmail.com](mailto:zarghami@gmail.com)

۲- گروه گیاهپزشکی، دانشکده‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

## مقدمه

سوم) تقسیم می‌شود. بر این اساس با افزایش تراکم طعمه، شکارگرها به ترتیب سبب مرگ‌ومیر مستقل از تراکم، وابسته معکوس به تراکم و وابسته به تراکم طعمه در جمعیت طعمه می‌شوند. منحنی‌های واکنش تابعی را می‌توان با استفاده از دو پارامتر شامل قدرت جستجو ( $a$ ) و زمان دستیابی ( $T_h$ ) مورد ارزیابی قرارداد. قدرت جستجو شیب افزایش در شکارگری با افزایش در تراکم طعمه را نشان می‌دهد و زمان دستیابی به معنای زمان صرف شده توسط شکارگر برای فعالیت‌هایی نظیر به دام انداختن طعمه، رام کردن، کشتن، خوردن و هضم کردن آن است و به تخمین آستانه سیر شدن شکارگر کمک می‌کند (Pervez and Omkar 2005). از دیگر روش‌های ارزیابی-شایستگی یک شکارگر، بررسی واکنش عددی می‌باشد. این واکنش یک استراتژی از سوی افراد ماده بالغ شکارگر بوده تا نتاج خود را در زمان فراوانی طعمه افزایش دهد (Holling 1959). اغلب پژوهشگران به منظور ارزیابی توانایی یک شکارگر در تنظیم جمعیت آفت تنها واکنش تابعی (Farhadi et al. 2010) و یا واکنش عددی (Agarwala and Bardhanoroy 1999) را مورد بررسی قرار داده‌اند و تنها به تعداد کمی پژوهش می‌توان اشاره کرد که این دو پدیده را به‌طور همزمان مورد ارزیابی قرار داده‌اند (Omkar and Pervez 2004; Bayoumy 2011). بی‌شک توجه به عملکرد همزمان این دو پدیده بینش بهتری را برای ارزیابی شایستگی دشمن طبیعی در کنترل آفت فراهم می‌آورد.

در پژوهش حاضر به منظور درک بهتر اثر تراکم طعمه بر واکنش تابعی و عددی افراد ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* در طی یک دوره زمانی ۳۳ روزه، این دو رفتار به‌طور همزمان مورد بررسی قرار گرفت تا با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده، توانایی شکارگری، تولیدمثل و امکان استفاده از این دشمن طبیعی در برنامه‌های کنترل بیولوژیک شپشک آردآلود جنوب فراهم شده و زمینه برای معرفی این کفشدوزک به‌عنوان یک عامل مناسب کنترل بیولوژیک برای مهار شپشک‌های آردآلود منطقه مهیا شود.

## مواد و روش‌ها

## تهیه‌ی کلنی شپشک آردآلود جنوب

شپشک آردآلود جنوب از باغ‌های مرکبات دزفول در تابستان سال ۱۳۹۰ جمع‌آوری شد و به‌طور انبوه در ظروف

شپشک آردآلود جنوب *Nipaeococcus viridis* (Hemiptera: Pseudococcidae) (Newstead)، آفتی چندین‌خوار بوده و تاکنون از روی ۱۹۳ گونه گیاهی گزارش شده است (Ben-Dov 2014). این آفت با مکیدن شیرهی گیاهی سبب پیچیدگی، زرد شدن برگ، عدم رشد گل‌ها و ریزش میوه شده (خسارت مستقیم) و با تولید عسلک فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه را مختل می‌کند (خسارت غیرمستقیم). این شپشک در حال حاضر یکی از آفات مهم درختان مرکبات در جنوب غرب ایران و بسیاری از مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا به شمار می‌رود (آساده، ۱۳۷۲؛ Sharaf and Meyerdirk 1987). در استان خوزستان، مهم‌ترین شکارگر شپشک آردآلود جنوب در باغ‌های مرکبات دزفول کفشدوزک شپشک‌خوار *Nephus arcuatus* Kapur (Coleoptera: Coccinellidae) می‌باشد. این گونه‌ی بومی ایران، تاکنون تنها از عربستان و یمن گزارش شده است (Ramindo and van Harten 2000; Löbl and Smetana 2007). این شکارگر با شرایط آب و هوایی گرمسیری سازگاری دارد و دمای بهینه برای فعالیت آن ۳۰ درجه‌ی سلسیوس گزارش شده است (Zarghami et al. 2014a). همچنین این گونه به دلیل پرخوری و تغذیه از گونه‌های متعددی از شپشک‌ها در مناطق گرمسیر، که سایر گونه‌های کفشدوزک رهاسازی شده علیه شپشک‌های آردآلود از جمله *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant به دلیل گرمای زیاد تابستان قادر به استقرار و فعالیت نیستند (مصدق و همکاران ۱۳۸۷)، می‌تواند شپشک‌های آردآلود موجود در این مناطق را به صورت موفقیت‌آمیزی کنترل کند (مصدق و همکاران ۱۳۹۱، 2013; Alizadeh et al.).

یکی از معیارهای مهم در انتخاب یک شکارگر به‌عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک، بررسی واکنش رفتاری شکارگر نسبت به تغییرات تراکم طعمه (واکنش تابعی) می‌باشد (Holling 1959). طبق نظر Holling (1959)، رابطه بین تراکم طعمه و تعداد طعمه مورد حمله قرار گرفته در واکنش تابعی به سه گروه رابطه خطی (نوع اول)، منحنی کاهشی (نوع دوم) و رابطه سیگموئیدی (نوع

گذاشته شده توسط ماده‌ها و سپس حذف آن‌ها، کفشدوزک‌ها به ظروف آزمایش جدید حاوی تراکم‌های ذکر شده منتقل می‌شدند. این عمل تا سی و ششمین روز عمر کفشدوزک ماده بالغ (۶۲ درصد از طول دوره تخم-ریزی) ادامه یافت (Zarghami et al. 2014a). این آزمایش برای هر تراکم طعمه در ۱۰ تکرار انجام شد. با توجه به تعداد زیاد دفعات جفت‌گیری در این حشره، هر سه روز یکبار ماده‌ها به مدت ۲ ساعت در این دورف ۱/۵ میلی-لیتری در کنار نرهای هم‌سن خود قرار گرفتند.

### تجزیه‌های آماری

برای تعیین نوع واکنش تابعی و پارامترهای آن از روش دو مرحله‌ای توصیه شده توسط جولیانو استفاده شد (Juliano 2001). ابتدا برای تعیین نوع (شکل) واکنش تابعی کفشدوزک، رگرسیون لجستیک نسبت طعمه خورده شده ( $N_a/N_0$ ) به تعداد اولیه طعمه ارائه شده ( $N_a$ ) با استفاده از تابع لجستیک چند جمله‌ای زیر برازش یافت:

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

در این معادله،  $N_0$  تعداد اولیه طعمه ارائه شده،  $N_a$  تعداد طعمه خورده شده و  $P_0, P_1, P_2, P_3$  به ترتیب عرض از مبدأ (Constant)، قسمت خطی (Linear)، درجه دو (Quadratic) و درجه سه (Cubic) منحنی بوده که با شیب منحنی واکنش تابعی مرتبط بوده و با استفاده از رویه‌ی CATMOD در برنامه‌ی آماری SAS 9.1 محاسبه شدند (SAS Institute 2003). با استفاده از این روش نوع واکنش تابعی کفشدوزک نسبت به طعمه ارائه شده با استفاده از علامت  $P_1$  و  $P_2$  تعیین شد. علامت منفی پارامتر  $P_1$  نشان‌دهنده‌ی واکنش تابعی نوع دوم و علامت مثبت پارامتر  $P_1$  و منفی پارامتر  $P_2$  نشان‌دهنده‌ی واکنش تابعی نوع سوم است (مرحله اول). پس از تعیین نوع واکنش تابعی (در اینجا نوع سوم)، پارامترهای واکنش تابعی، شامل زمان دستیابی ( $T_h$ ) و ضرایب ثابت  $b, c$  و  $d$  با استفاده از رگرسیون غیرخطی حداقل مربعات با رویه NLIN در برنامه آماری SAS 9.1 محاسبه شدند (مرحله دوم). از آنجایی که تعداد طعمه خورده شده در طی زمان آزمایش جایگزین نشد، از مدل "شکارگری-تصادفی" راجرز (Rogers 1972) برای تعیین پارامترهای واکنش تابعی نوع سوم به شرح زیر استفاده شد:

پلاستیکی به ابعاد  $10 \times 16 \times 24$  سانتی‌متر که سرپوش آن‌ها با یک پارچه با مش ریز جهت تهویه پوشیده شده بود پرورش داده شد. از غده‌های سیب‌زمینی جوانه‌زده *Solanum tuberosum* L. برای پرورش شپشک استفاده شد.

### تهیه‌ی کلنی کفشدوزک *N. arcuatus*

افراد بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* از باغ‌های مرکبات آلوده به شپشک آردآلود جنوب از دزفول جمع‌آوری و پس از شناسایی، روی غده‌های سیب‌زمینی آلوده به همین آفت رها شدند. نمونه‌ها به صورت روزانه مورد بررسی قرار گرفتند و در صورت نیاز غذای جدید به کفشدوزک‌ها ارائه شد. کلنی کفشدوزک و شپشک در دمای بهینه  $1 \pm 30$  درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی  $5 \pm 65$  درصد و دوره‌ی نوری ۱۴:۱۰ ساعت (تاریکی: روشنایی) نگهداری شدند (Zarghami et al. 2014b). پس از گذشت دو نسل، از کفشدوزک‌ها برای آزمایش استفاده شد.

### ارزیابی واکنش تابعی و عددی کفشدوزک ماده *N. arcuatus*

به‌منظور بررسی واکنش تابعی و عددی افراد ماده بالغ کفشدوزک نسبت به تخم شپشک آردآلود جنوب به‌عنوان طعمه‌ی ترجیحی (ضرغامی و همکاران ۱۳۹۳) از ماده‌های بالغ جفت‌گیری کرده هم‌سن سه‌روزه استفاده شد. پیش از شروع آزمایش ماده‌های بالغ به‌طور جداگانه بدون دسترسی به طعمه، به مدت ۱۰ ساعت در این-دورف ۱/۵ میلی‌لیتری که درپوش آن تهویه‌دار بود، نگهداری شدند. سپس یک نر بالغ هم‌سن با ماده بالغ به مدت دو ساعت در کنار هر یک از ماده‌ها قرار داده شد. در مجموع ماده‌ها ۱۲ ساعت در محیط فاقد طعمه نگه-داری شدند. تنها از ماده‌هایی برای انجام آزمایش استفاده شد که جفت‌گیری آنها با افراد نر مشاهده شد. سپس این ماده‌ها در ظرف آزمایش به ابعاد  $3 \times 7 \times 9$  سانتی‌متر حاوی تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۴۰، ۶۵، ۹۰ و ۱۱۵ تخم شپشک که روی کاغذ صافی در فاصله‌ی منظم و نزدیک به یکدیگر قرار داده شده بود، رها شدند. این ظروف روزانه در زیر بینوکولار مورد بازدید قرار می‌گرفتند و هر روز تعداد طعمه خورده شده و تخم‌های گذاشته شده توسط هر کفشدوزک ماده شمارش می‌شد. بعد از شمارش تخم‌های

رگرسیون خطی، توانی و نمایی استفاده شد. جهت مقایسه‌ی مدل‌ها از معیار AICc (Akaike information criterion corrected) استفاده شد. مدل با کمترین AICc بهترین برآزش را بین متغیرها نشان می‌دهد و ضریب تبیین ( $R^2$ ) زمانی به عنوان ملاک قرار گرفت که دو مدل دارای AICc مشابهی باشند (Burnham and Anderson 2002).

## نتایج و بحث

### واکنش تابعی

برآزش رگرسیون لجستیک بین تراکم‌های مختلف تخم شپشک آردآلود جنوب و تعداد تخم خورده شده توسط افراد ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* به دلیل مثبت بودن شیب قسمت خطی منحنی ( $P_1 > 0$ ) واکنش تابعی نوع سوم را نشان داد (جدول ۱). نتایج تجزیه‌ی واریانس نشان داد که با افزایش تراکم طعمه، تعداد طعمه خورده شده به‌طورمعنی‌داری افزایش یافت ( $F=193.85$ ;  $df=7, 72$ ;  $P<0.0001$ ) منحنی واکنش تابعی نوع سوم کفشدوزک نشان داد که کفشدوزک ماده ابتدا در تراکم‌های پایین‌تر طعمه وابسته به تراکم طعمه عمل کرده و با افزایش تراکم از ۲ تا ۱۵ طعمه نسبت طعمه‌های خورده شده افزایش یافت، اما در تراکم‌های بالاتر وابسته به تراکم معکوس عمل کرده در نتیجه از تراکم ۴۰ تا ۱۱۵ به‌تدریج از میزان آن کاسته شد (شکل ۱). مشابه نتایج به‌دست‌آمده (Bayoumy 2011) واکنش ماده‌ی بالغ *Nephus includens* Kirsch را در تغذیه از شته سیاه باقلا *Aphis fabae* Scopoli از نوع سوم گزارش کرد. عبداللہی-آهی و همکاران (۱۳۹۱) نیز واکنش ماده بالغ *C. montrouzieri* مهم‌ترین شکارگر شپشک‌های آردآلود را در تغذیه از پوره‌ی سن سوم شپشک آردآلود مرکبات *Planococcus citri* Risso از نوع سوم گزارش کردند. ضرغامی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی واکنش تابعی ماده بالغ *N. arcuatus* در تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب در طی ۲۴ ساعت، واکنش تابعی را از نوع سوم گزارش کردند. بررسی منابع نشان می‌دهد که در بین شکارگرها واکنش تابعی نوع دوم در مقایسه با نوع سوم رایج‌تر است. به عقیده اکثر اکولوژیست‌ها شکارگرهای با واکنش تابعی نوع سوم با پایدار کردن پویایی جمعیت شکارگر- شکار سهم بیشتری را در تنظیم جمعیت طعمه

$$N_a = N_0 \{1 - \exp[-(d + bN_0)(T_h N_a - T)(1 + cN_0)]\}$$

در این مدل،  $T_h$  زمان دستیابی و  $T$  زمان کل آزمایش (در این تحقیق ۲۴ ساعت) است. پارامترهای  $b$ ،  $c$  و  $d$  مقادیر ثابت‌اند که می‌بایست محاسبه شوند. در واکنش تابعی نوع سوم ضریب حمله تابعی از تراکم شکار بوده و با میزان رویارویی شکارگر با شکار مرتبط است (Hassell 1978):

$$a = (d + bN_0) / (1 + cN_0)$$

با توجه به حذف پارامترهای  $c$  و  $d$  به جهت عدم اختلاف معنی‌دار با صفر، از مدل کاهش‌یافته زیر برای محاسبه مقدار نرخ حمله در تراکم‌های مختلف طعمه استفاده شد

$$a = bN_0$$

بیشینه تئوریک نرخ شکارگری ( $T/T_h$ ) با استفاده از زمان دستیابی کفشدوزک ماده ( $T_h$ ) در طی ۲۴ ساعت آزمایش محاسبه شد (Hassell 2000). مقدار ضریب تبیین با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Tabachnick and Fidell 2007)

$$r^2 = 1 - (\text{residual sum of squares} / \text{corrected total sum of squares})$$

با توجه به اطلاعات مربوط به تعداد تخم گذاشته‌شده توسط کفشدوزک‌های ماده در هر تراکم، میانگین‌ها و منحنی مربوط به تغییرات تعداد تخم کفشدوزک در تراکم‌های مختلف طعمه با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot 11.0 تعیین و ترسیم شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از برنامه آماری SAS 9.1 صورت گرفت (SAS Institute 2003). علاوه بر این، کارایی بهره‌برداری از غذا توسط افراد ماده بالغ کفشدوزک در تراکم‌های مختلف طعمه با استفاده از معادله ارائه‌شده توسط Omkar and Kumar (2013) به شرح زیر محاسبه شد:

$$\text{کارایی بهره‌برداری از غذا (\%)} = \frac{\text{تعداد طعمه خورده شده}}{\text{تعداد طعمه ارائه شده}} \times 100$$

به‌منظور تعیین بهترین برآزش بین میانگین تعداد تخم تولیدشده و کارایی بهره‌برداری و تراکم طعمه از سه مدل

آلود هستند برخوردار می‌باشد. به‌عنوان مثال، میزان تغذیه‌ی *N. includens* در تغذیه از *N. viridis* ۴۱ تخم شپشک (خدامان، ۱۳۷۱) و *Nephus kreissli* Fürsch and Uygun در تغذیه از *Planococcus ficus* Signoret ۲۳/۵ تخم شپشک (Mustu and Klincer 2013). گزارش شده است. علاوه بر این (Zarghami et al. 2014b) میزان تغذیه‌ی افراد ماده و نر بالغ *N. arcuatus* از شپشک *P. citri* را در طی ۲۴ ساعت به ترتیب ۷۶/۷ و ۳۲/۶ تخم شپشک گزارش کردند که موید همین مطلب است.

### واکنش عددی و کارایی بهره‌برداری از غذا

میانگین تعداد تخم گذاشته شده توسط ماده‌ی بالغ کفشدوزک و کارایی بهره‌برداری از غذا توسط آن در جدول ۳ ارائه شده است. با افزایش تراکم طعمه، تعداد تخم تولید شده توسط ماده‌ها به‌طور معنی‌داری از ۱ تخم (در تراکم ۴) تا ۲۲۹/۵ تخم (در تراکم ۱۱۵) به‌طور غیرخطی افزایش یافت ( $F=32.54$ ;  $df=7,72$ ;  $P<0.0001$ ) (شکل ۲). ماده‌ها قادر به تخم‌ریزی در تراکم ۲ عدد طعمه نبودند. افزایش تعداد طعمه در دسترس و تغذیه از آن به رشد بیشتر اواربول در بدن افراد ماده کمک کرده و از این‌رو با افزایش تعداد طعمه خورده شده تعداد تخم گذاشته‌شده افزایش می‌یابد (Osawa 2005). در مقابل، با افزایش تراکم طعمه-ی ارائه شده برای کفشدوزک، کارایی بهره‌برداری از غذا توسط آن از تراکم ۲ تا ۸ ثابت بوده (۱۰۰ درصد) و سپس کفشدوزک پس از صرف تعداد طعمه مورد نیاز سیر شده و میزان کارایی بهره‌برداری خود را تا تراکم ۱۱۵ به‌تدریج کاهش داد ( $F=132.03$ ;  $df=7,72$ ;  $P<0.0001$ ) (شکل ۲). Zarghami et al. (2014b) گزارش داده‌اند، *N. arcuatus* به‌طور میانگین ۶۶۰/۴ عدد تخم را در طی ۱۱۶/۵ روز طول عمر ماده تولید می‌کند. با توجه به کوتاه‌تر بودن مدت‌زمان پژوهش حاضر، میانگین تخم‌ریزی کمتری از این کفشدوزک مشاهده شد. تولید تخم در کفشدوزک‌ها به‌شدت تحت تأثیر فراوانی طعمه است (Dixin and Guo 1993). کمبود مواد غذایی یا به‌عبارت‌دیگر گرسنگی سبب القاء جذب تخمک در کفشدوزک‌ها می‌شود (Kurihara 1975). در نتیجه در طی مدت زمان گرسنگی، هورمون جوانی که وظیفه کنترل تجمع زرده در تخمک را بر عهده دارد ترشح نشده، سلول‌های فولیکول تولید مواد پروتئینی زرده را متوقف

نسبت به افراد با واکنش نوع دوم دارند (Murdoch and Oaten 1975). از این‌رو، واکنش تابعی نوع سوم این شکارگر اهمیت آن را به‌عنوان یک عامل بیولوژیک مناسب علیه شپشک‌های آردآلود افزایش می‌دهد. سه مکانیسم پیش‌فرض برای بروز واکنش تابعی نوع سوم در حشرات شامل: بروز رفتار سویچینگ در حضور چندین نوع طعمه (Murdoch 1969)، یادگیری (Murdoch and Oaten 1975) و تمرکز شکارگر به‌منظور صید شکار در لکه‌های با تراکم بالا (Hertlein and Thorarinsson 1987) می‌باشد. از آنجایی که در این تحقیق آزمایش‌ها در یک دوره‌ی بلندمدت و روی یک گونه طعمه انجام‌شده، از این‌رو احتمالاً مکانیسم یادگیری دلیل اصلی بروز واکنش تابعی نوع سوم در ماده بالغ کفشدوزک شده است.

ضریب ثابت  $b = 0.0505$  و زمان دستیابی  $0.4163$  ساعت تخمین زده شد (جدول ۲). با توجه به نوع واکنش (III)، رابطه بین نرخ حمله و تراکم اولیه طعمه ( $a=bN_0$ ). یک رابطه خطی با روند افزایشی با افزایش تراکم طعمه تعیین شد. بر اساس این معادله مقدار نرخ جستجو برای ماده کفشدوزک در تراکم‌های ۲ تا ۱۱۵ تخم شپشک به ترتیب  $0.0101$ ،  $0.0202$ ،  $0.0404$ ،  $0.0758$ ،  $0.1202$ ،  $0.17283$ ،  $0.2245$  و  $0.2808$  بر ساعت برآورد شد. مقدار ضریب تبیین محاسبه‌شده نشان داد که معادله راجرز به‌خوبی واکنش تابعی *N. arcuatus* را در تغذیه از تخم شپشک آردآلود جنوب توصیف می‌کند (جدول ۲). ضرغامی و همکاران (۱۳۹۳) حداکثر نرخ شکارگری، زمان دستیابی و ضریب ثابت  $b$  را برای ماده‌ی بالغ *N. arcuatus* به ترتیب ۸۵/۱ تخم شپشک،  $0.0811$  ساعت و  $0.2819$  گزارش دادند. از آنجایی که نوع واکنش تابعی و پارامترهای آن می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل دما (Sarmiento et al. 2005)، گونه طعمه (Ding-Xu et al. 2007) و سن شکارگر (Ding-Xu et al. 2007) تغییر کند، احتمالاً به دلیل اینکه پژوهش حاضر در یک دوره‌ی بلندمدت انجام شده است، عامل سن شکارگر سبب شد که ضریب ثابت کمتر، زمان دستیابی بیشتر و شکارگری کمتری مشاهده شود. بیشینه تئوریک نرخ شکارگری در طی ۲۴ ساعت شکارگری ماده‌ی بالغ *N. arcuatus* ۵۷/۷ تخم شپشک برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد که *N. arcuatus* از توان تغذیه‌ای بالایی نسبت به سایر هم‌جنس‌های خود که از شکارگرهای مهم شپشک‌های -

جدول ۱. نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک نسبت تخم شپشک آردآلود جنوب خورده شده توسط افراد ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* بر تعداد اولیه طعمه ارائه شده

پارامتر	برآورد	SE	X <sup>2</sup>	P
عرض از مبدأ	۱/۷۰۷۰	۰/۲۸۴۱	۳۶/۱۰	<۰/۰۰۰۱
خطی	۰/۰۳۸۴	۰/۰۱۶۸	۵/۲۵	۰/۰۲۱۹
درجه دو	-۰/۰۰۱۱۹	۰/۰۰۰۲۸۴	۱۷/۶۷	<۰/۰۰۰۱
درجه سه	۶/۴۰۵E-۶	۱/۳۹۳E-۶	۲۱/۱۴	<۰/۰۰۰۱

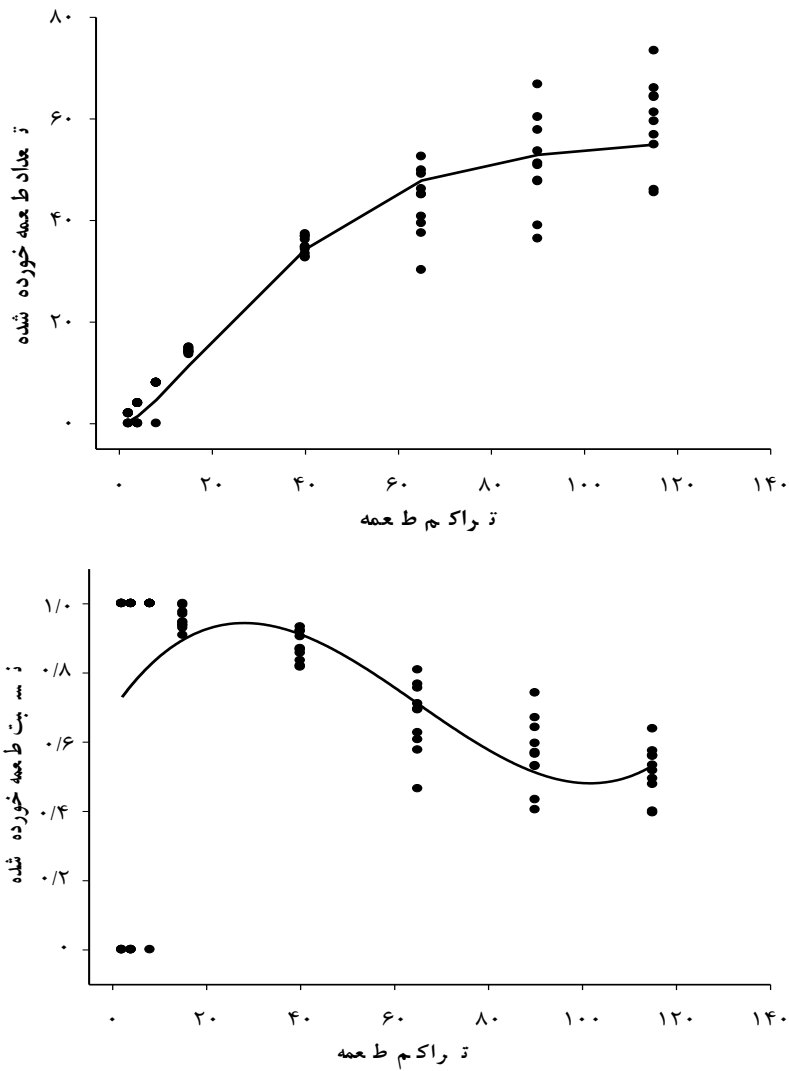
جدول ۲. مقادیر برآورد شده توسط مدل راجرز برای پارامترهای واکنش تابعی افراد ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* نسبت به تخم شپشک آردآلود جنوب.

پارامتر	برآورد	SE	حدود اطمینان (۰.۹۵٪)	T/Th	r <sup>2</sup>
			حد پایین حد بالا		
ضریب ثابت (b)	۰/۰۰۵۰۵	۰/۰۰۰۹۶۹	۰/۰۰۳۱۲	۰/۰۰۶۹۸	۰/۹۷۳
زمان دستیابی (Th)	۰/۴۱۶۳	۰/۰۱۲۹	۰/۳۹۰۷	۰/۴۴۱۹	۵۷/۷

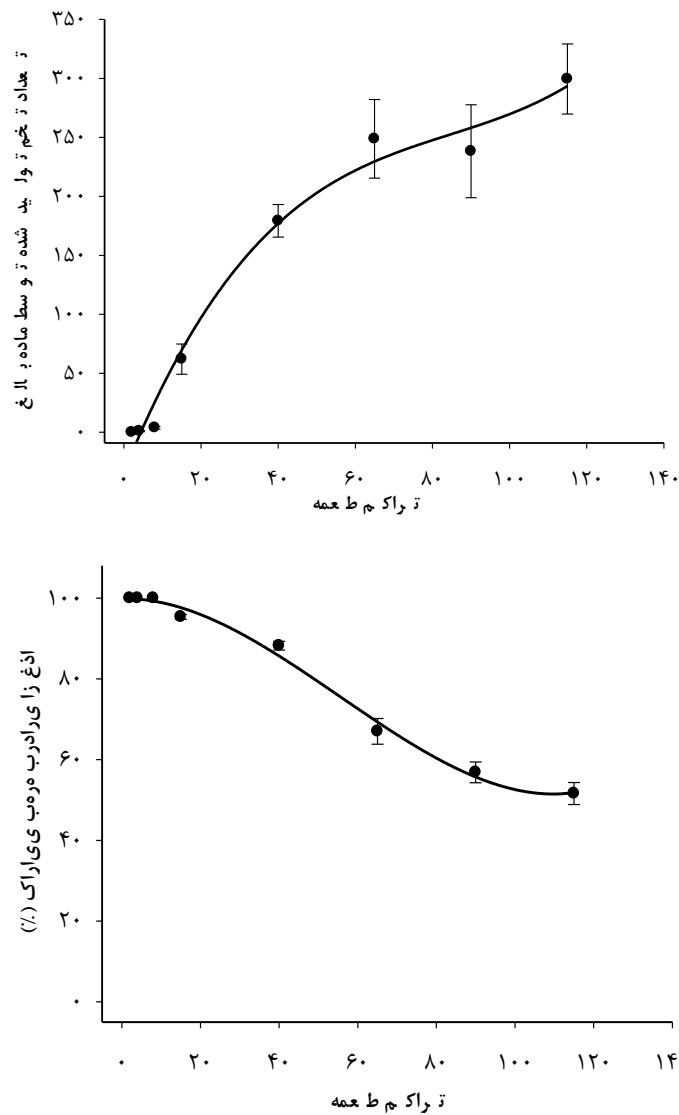
جدول ۳. میانگین تعداد طعمه خورده شده، تعداد تخم تولیدشده و حداکثر کارایی بهره برداری از غذا (±خطای استاندارد) توسط افراد ماده‌ی بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* در تراکم‌های مختلف تخم شپشک آردآلود جنوب.

پارامتر						
تراکم طعمه	دامنه	تعداد طعمه خورده شده	دامنه	تعداد تخم تولید شده	حداکثر کارایی بهره‌برداری	دامنه
۲	۰-۲	۱/۴±۰/۳ <sup>g</sup>	۰	۰ <sup>c</sup>	۱۰۰±۰ <sup>a</sup>	۱۰۰
۴	۰-۴	۲/۸±۰/۶ <sup>fg</sup>	۰-۵	۱±۰/۵ <sup>c</sup>	۱۰۰±۰ <sup>a</sup>	۱۰۰
۸	۰-۸	۷/۲±۰/۸ <sup>f</sup>	۰-۹	۳/۹±۱/۲ <sup>c</sup>	۱۰۰±۰ <sup>a</sup>	۱۰۰
۱۵	۱۳/۶-۱۵	۱۴/۳±۰/۱ <sup>e</sup>	۲۲-۱۴۲	۶۲±۱۲/۸ <sup>c</sup>	۹۵/۴±۰/۶ <sup>a</sup>	۹۳/۴-۱۰۰
۴۰	۳۲/۶-۳۷/۳	۳۵/۰±۰/۵ <sup>d</sup>	۱۰۹-۲۳۷	۱۷۹/۳±۱۳/۸ <sup>b</sup>	۸۸/۱±۱/۱ <sup>b</sup>	۸۱/۳-۹۲/۸
۶۵	۳۰/۲-۵۲/۵	۴۳/۶±۲/۱ <sup>c</sup>	۹۵-۳۹۵	۲۴۸/۸±۳۳/۳ <sup>a</sup>	۶۷/۱±۳/۱ <sup>c</sup>	۴۷/۱-۷۹/۲
۹۰	۳۶/۴-۶۶/۸	۵۱/۱±۲/۹ <sup>b</sup>	۱۴-۴۶۱	۲۳۸/۳±۳۹/۴ <sup>ab</sup>	۵۶/۹±۲/۶ <sup>d</sup>	۴۴/۹-۶۹/۲
۱۱۵	۴۵/۵-۷۳/۴	۵۹/۲±۲/۷ <sup>a</sup>	۱۵۴-۴۶۲	۲۹۹/۵±۲۹/۷ <sup>a</sup>	۵۱/۶±۲/۸ <sup>e</sup>	۳۱/۲-۶۰/۵

حروف لاتین کوچک مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود اختلاف معنادار بین تراکم‌ها می‌باشد (LSD; P<0.05).



شکل ۱. واکنش تابعی افراد ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* نسبت به تراکم‌های مختلف تخم شپشک آردآلود جنوب. بالا: تعداد تخم خورده شده. پایین: نسبت تخم خورده شده.



شکل ۲. بالا: رابطه بین تعداد تخم گذاشته شده با تراکم طعمه؛ پایین: رابطه بین کارایی بهره برداری از غذا توسط افراد ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* با تراکم های مختلف تخم شپشک آردآلود جنوب.

جدول ۴. پارامترهای  $R^2$  و AICc در مدل های مختلف رگرسیونی بین میانگین تعداد تخم گذاشته شده و کارایی بهره برداری از غذا توسط افراد ماده بالغ کفشدوزک *N. arcuatus* در ارتباط با تراکم های مختلف تخم شپشک آردآلود جنوب.

نمایی	توانی	خطی	پارامتر	
۰/۸۳۸	۰/۸۳۶	۰/۸۳۱	$R^2$	تعداد تخم گذاشته شده
۵۸۷/۸۹	۵۸۹/۱۳	۸۸۹/۷۴	AICc	
۰/۷۶۸	۰/۷۶۴	۰/۶۹۷	$R^2$	کارایی بهره برداری از غذا
۶۱۸/۱۷	۶۱۹/۵۱	۶۳۷/۲۸	AICc	



(2011) گزارش داد که هر دو واکنش تابعی و عددی *N. includens* با تغذیه از شتهی *A. fabae* واکنش وابسته به تراکم طعمه است.

بر اساس بررسی منابع صورت گرفته به نظر می‌رسد این تحقیق اولین ارزیابی واکنش تابعی و عددی کفشدوزک *N. arcuatus* در دنیا باشد. با توجه به نوع واکنش تابعی این کفشدوزک (نوع سوم)، نتایج حاصل از واکنش عددی کفشدوزک و همچنین خصوصیات مثبت این کفشدوزک بومی از قبیل طول عمر طولانی و زادآوری زیاد، پرخوری، عدم تأثیر عوامل مختلفی از قبیل گونه‌ی طعمه، مرحله‌ی رشدی طعمه و تجربه‌ی قبلی بر ترجیح شکارگری آن و همچنین توانایی فعالیت این شکارگر در مناطق گرم جنوبی غرب کشور (Zarghami et al. 2014 a,b)، امید است بتوان این شکارگر را در برنامه‌های کنترل بیولوژیک شپشک‌های آردآلود مورد استفاده قرار داد. نتیجه‌گیری حاضر بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی بوده و شکارگر در طبیعت با تغییرات دمایی، رطوبتی، نوری و همچنین حضور میزبان‌های دیگر مواجه شده که می‌تواند واکنش تابعی و عددی آن را تغییر دهد، از این رو شناخت این عوامل و نحوه تأثیر آنها بر رفتار شکارگری پس از رهاسازی برای یک نتیجه‌گیری منطقی‌تر حائز اهمیت است.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر تامین اعتبار لازم و مساعدت در اجرای این تحقیق قدردانی می‌شود.

کرده و از طریق فاگوسیتوز اوپلاسم را جذب می‌کنند (Maeta and Kurihara 1971). مشابه نتایج به‌دست آمده، (2011) Bayoumy نشان داد که با افزایش تراکم شته جالیز *A. gossypii* تعداد تخم تولیدشده توسط کفشدوزک *N. includens* به‌طور غیرخطی افزایش می‌یابد. (2013) Omkar and Kumar در یک تحقیق روی حشرات کامل ماده‌ی *Anegleis cardoni* Weise گزارش دادند که میزان تخم‌گذاری کفشدوزک ماده با افزایش تراکم شته *A. gossypii* افزایش و راندمان بهره بردای از غذا کاهش می‌یابد.

در مقایسه مدل‌ها، مدل نمایی با داشتن کمترین AICc به عنوان بهترین مدل برای بیان رابطه بین میانگین تعداد تخم گذاشته‌شده و کارایی بهره‌برداری از غذا توسط ماده-ی بالغ کفشدوزک نسبت به تراکم‌های مختلف طعمه ارائه شده، شناخته شد (جدول ۴). این مدل تا حدودی به واکنش تابعی نوع سوم در حشرات شباهت دارد. از این رو، بر اساس نتایج به‌دست آمده واکنش تابعی و عددی کفشدوزک با یکدیگر مرتبط بوده و عملکرد آنها به صورت همزمان است (Omkar and Pervez 2004). از مقایسه‌ی این دو واکنش با یکدیگر به راحتی می‌توان سطح گرسنگی و آستانه‌ی سیر شدن شکارگر را مشخص کرد. همان‌گونه که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، در جایی که خط منحنی شکارگری صاف می‌شود بیشترین تخم توسط ماده بالغ کفشدوزک تولید خواهد شد (در تراکم ۱۱۵). از این رو، رهاسازی یک نسبت ۱:۱۱۵ (طعمه: شکارگر) در یک برنامه کنترل بیولوژیک دوره‌ای احتمالاً یک کنترل موفق‌تری از آفت را فراهم خواهد آورد. به‌طور مشابه، (2004) Omkar and Pervez گزارش دادند واکنش تابعی و عددی کفشدوزک *Propylea dissecta* Mulsant با تغذیه از *A. gossypii* از یک رابطه‌ی توانی پیروی می‌کند. Bayoumy

### منابع

- آساده، غ.، مصدق، م.، س. ۱۳۷۲. بررسی فون شپشک‌های آردآلود (Pseudococcidae) در استان خوزستان، گیاهپزشکی (مجله علمی کشاورزی)، ۱۱۶ (۱ و ۲): ۷۶-۸۱.
- عبداللہی آھی، غ.، افشاری، ع.، بنی عامری، و.، دادپور مغانلو، ه.، آساده، غ.، یزدانیان، م. ۱۳۹۱. واکنش تابعی کفشدوزک *Planococcus citri* Mulsant (Col.: Coccinellidae) به شپشک آردآلود مرکبات *Cryptolaemus montrouzieri* (Risso) (Hom.: Pseudococcidae) در شرایط آزمایشگاه، گیاهپزشکی (مجله علمی کشاورزی)، ۲۹ (۱): ۱-۱۴.

خدامان، ع. ۱۳۷۱. بررسی بیولوژی شپشک آردآلود جنوب (*Nipaeococcus viridis* (New.) و امکان مبارزه بیولوژیک با استفاده از کفشدوزک کریپت و سایر کفشدوزک‌های موجود در استان خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد حشره شناسی کشاورزی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

مصدق، م. س.، اسلامی‌زاده، ر.، اسفندیاری، م. ۱۳۸۷. بررسی امکان مبارزه بیولوژیک با شپشک آردآلود جنوب (*Nipaeococcus viridis* (New.) با استفاده از کفشدوزک کریپت *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant در باغ‌های

مرکبات دزفول. خلاصه مقالات هجدهمین کنگره گیاه‌پزشکی ایران، دانشگاه بوعلی سینا، صفحه ۳۵.

مصدق، م. س.، وفائی، ش.، ضرغامی، م. س.، کچیلی، ف.، فارسی، الف.، علیزاده، م. الف.، رضایی، ن. ۱۳۹۱. دشمنان طبیعی شپشک آردآلود *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Sternorrhyncha: Coccoidea: Pseudococcidae) در خوزستان.

خلاصه مقالات بیستمین کنگره گیاه‌پزشکی ایران. شهریور ۱۳۹۱، دانشگاه تهران، صفحه ۲۱۶.

ضرغامی، م. س.، مصدق، م. س.، کچیلی، ف.، اللهیاری، ح.، راسخ، آ. ۱۳۹۳. بررسی ترجیح مرحله طعمه و واکنش تابعی کفشدوزک *Nephus arcuatus* Kapur روی شپشک آرد آلود جنوب (*Nipaeococcus viridis* (News.) تحقیقات آفات گیاهی، ۴(۳):۷۶-۸۳.

- Alizadeh, M. S., Mossadegh, M. S., Esfandiari, M. 2013. Natural enemies of *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) and their population fluctuations in Ahvaz, South West of Iran. *Journal of Crop Protection*, 2:13-21.
- Agarwala, B. K., Bardhanroy, P. 1999. Numerical response of ladybird beetles (Coccinellidae: Coleoptera) to aphid prey (Homoptera: Aphididae) in a field bean in northeast India. *Journal of Applied Entomology*, 123: 401-405.
- Ben-Dov, Y., Miller, D. R., Gibson, G. A. P. 2014. ScaleNet. From <http://www.sel.barc.usda.gov/scalenet/scalenet.htm>.
- 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.
- Burnham, K. P., Anderson, D. R. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer-Verlag, New York, USA, 490 pp.
- Ding-Xu, L., Juan, T., Zuo-Rui, S. 2007. Functional response of the predator *Scolothrips takahashii* to hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis*: effect of age and temperature. *Biological control*, 52: 41-61.
- Dixin, A. F. G., Guo, Y. 1993. Egg and cluster size in ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae): the direct and indirect effect of aphid abundance. *European Journal of Entomology*, 9:457-463.
- Farhadi, R., Allahyari, H., Juliano, S. A. 2010. Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 39 (5):1586-1592.
- Hassell, M. P. 1978. *The Dynamics of arthropod predator-prey systems*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 237 pp.
- Hassell, M. P. 2000. *The spatial and temporal dynamics of host parasitoid interactions*. Oxford University Press, London, UK. 200 pp.
- Hertlein M. B., Thorarinsson, K. 1987. Variable patch times and the functional response of *Leptopilina baulardi* (Hymenoptera: Eucoilidae). *Environmental Entomology*, 16:593-598.
- Holling, C. S. 1959. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European pine sawfly. *Canadian Entomologist*, 91:293-320.
- Içsikber, A. A. 2005. Functional response of two coccinellid predators, *Scymnus levillanti* and *Cycloneda sanguinea*, to the cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29:347-355.
- 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*. Oxford University Press, 178-216 pp.
- Kurihara, M. 1975. Anatomical and histological studies on the germinal vesicle in degenerating oocyte of starved females of the lady beetle, *Epilachna vigintioctomaculata* Motschulsky (Coleoptera: Coccinellidae). *Kontyû*, 43:91-105.
- Löbl, I., Smetana, A. Eds. 2007. *Catalogue of palearctic Coleoptera*. Vol. 4: Elateroidea, Derodontoidea, Bostrichoidea, Lymexyloidea, Cleroidea and Cucujoidea. Apollo Books, Stenstrup, Denmark, 935 pp.
- Maeta, Y., Kurihara, M. 1971. Anatomical and histological studies on the oogenesis and resorption of terminal oocytes within genus *Osmia*. *Kontyû*, 39:138-158.

- Murdoch, W. W. 1969. Switching in general predators: experiments on predator specificity and stability of prey populations. *Ecological Monographs*, 39:335-364.
- Murdoch, W. W., Oaten, A. 1975. Predation and population stability. *Advances in Ecological Research*, 9:2-131.
- Mustu, M., Klincer, N. 2013. Life table and some feeding features of *Nephus kreissli* fed on *Planococcus ficus*. *Phytoparasitica*, 41: 203–211.
- Omkar, L., Kumar, G. 2013. Responses of an aphidophagous ladybird beetle, *Aneleis cardoni*, to varying densities of *Aphis gossypii*. *Journal of Insect Science*, 13(24):1-12.
- Omkar, L., Pervez, A. 2004. Functional and numerical response of *Propylea dissecta* (Col., Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 128: 140-146.
- Osawa, N. 2005. The effect of prey availability on ovarian development and oosorption in the ladybird beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 102: 503-511.
- Pervez, A., Omkar, L. 2005. Functional responses of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science*, 5(5):1-6.
- Rogers, D. 1972. Random search and insect population models. *Journal of Animal Ecology*, 41: 369-383.
- Ramindo, A. A. C., van Harten, W. A. 2000. An annotated checklist of the Coccinellidae (Insecta: Coleoptera) of Yemen. *Fauna of Arabia*, 18:211-243.
- Sarmiento, R. A., Pallini, A., Venzon, M., De Souza, O. F. F. A., Molina Rugama, J., De Oliveira, C. L. 2007. Functional response of the predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) to different prey types. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50:121-126.
- SAS Institute. 2003. SAS user's guide: statistics, version 9.1. SAS institute, Cary, NC.
- Sharaf, N. S., Meyerdirk, D. E. 1987. A review of the biology, ecology and control of *Nipaeococcus viridis* (Homoptera: Pseudococcidae). *Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America*, 66:1-18.
- Tabachnick, B. G., Fidell, S. L. 2007. *Experimental design using ANOVA*. Duxbury Press, CA. 220 pp.
- Zarghami, S., Kocheili, F., Mossadegh, M. S., Allahyari, H., Rasekh, A. 2014 a. Effect of temperature on population growth and life table parameters of *Nephus arcuatus* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 111 (2):199-206.
- Zarghami, S., Kocheili, F., Mossadegh, M. S., Allahyari, H., Rasekh, A. 2014 b. Prey preference and consumption capacity of *Nephus arcuatus* (Coleoptera: Coccinellidae): the influence of prey stage, prey size and feeding experience. *Biocontrol Science and Technology*, 24(9):1062-1072.

## Functional and numerical responses of *Nephus arcuatus* Kapur feeding on *Nipaeococcus viridis* (Newstead)

Sara Zarghami<sup>\*1</sup>, Mohammad Saeed Mossadegh<sup>1</sup>, Farhan Kocheili<sup>1</sup>, Hossein Allahyari<sup>2</sup>, Arash Rasekh<sup>1</sup>

1- Department of Plant protection, faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Department of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Date received: 02.12.2015

Date accepted: 05.17.2015

### Abstract

In this study, the functional and numerical responses of *Nephus arcuatus* Kapur, one of the most important predators of *Nipaeococcus viridis* (Newstead), were investigated. *N. viridis* egg densities (2, 4, 8, 15, 40, 65, 90 and 115) were individually presented to a single mated female (3 days old). The prey densities were replaced every day for 33 days. The functional response was determined using logistic regression and the parameters were estimated by non-linear regression. The results revealed type III functional response of *N. arcuatus*. Constant coefficient (b) and handling time ( $T_h$ ) were estimated to be 0.00505 and 0.4163 h, respectively. The maximum theoretical predation rate ( $T/T_h$ ) was calculated as 57.7 eggs. The reproductive numerical response, in terms of egg laid increased curvilinearly with prey density and females laid 1 and 229.5 eggs at densities of 4 and 115, respectively. In contrast, the food exploitation efficiency was decreased with increasing of prey density. The similar shapes of both functional and numerical responses indicated that both were linked and that they function simultaneously. According to the obtained results, a ratio 1:115 (predator: prey) could be probably provided with an effective control, when releasing this predator for biological control of *N. viridis*.

**Keywords:** *Nephus arcuatus*, *Nipaeococcus viridis*, functional response, numerical response.