

**پارازیتسم وابسته به دما در زنبور پارازیتوئید (*Trichogramma brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae)****مدلسازی نرخ منتهای پارازیتسم**مهرنوش نگهبان، امین صداریان جهرمی<sup>\*</sup>، مجتبی قانع جهرمی و مصطفی حقانی

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، کد پستی: ۷۵۹۱۸-۷۴۸۳۱

<sup>\*</sup>مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Sedaratian@yu.ac.ir**Temperature-dependent parasitism in *Trichogramma brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae), modeling finite parasitism rate**M. Negahban, A. Sedaratian-Jahromi<sup>\*</sup>, M. Ghane-Jahromi and M. Haghani

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, P. O. Box: 75918-74831.

<sup>\*</sup>Corresponding author, E-mail: Sedaratian@yu.ac.ir**چکیده**

در پژوهش حاضر نرخ پارازیتسم زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* Bezdenko در شش دمای ثابت ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۲ و ۳۵ ± ۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دوره روشنایی ۱۶ ساعت روی تخم‌های شب‌پره بید غلات *T. brassicae* مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، پارامترهای پارازیتسم زنبور *T. brassicae* به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر دما قرار گرفت. بیشترین (۴۰/۲۵۷ میزبان) و کمترین (۳/۷۳۱ میزبان) مقادیر نرخ خالص پارازیتسم ( $C_0$ ) به‌ترتیب در دماهای ۳۲ و ۱۵ درجه سلسیوس به‌دست آمد. مقادیر محاسبه شده نرخ تبدیل جمعیت میزبان به نتاج پارازیتوئید ( $Q_p$ ) در تمامی دماهای مورد مطالعه برابر با ۱ بود. با افزایش دما از ۱۵ به ۳۰ درجه سلسیوس، مقادیر نرخ پایدار پارازیتسم ( $\psi$ ) از ۰/۰۷۴ به ۰/۴۵۱ (میزبان/پارازیتوئید) افزایش یافت. مقادیر محاسبه شده پارامتر مذکور در دماهای ۳۲ و ۳۵ درجه سلسیوس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین مقدار نرخ منتهای پارازیتسم ( $\omega$ ) نیز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس ثبت شد (۰/۶۵۴ بر روز). علاوه بر این، آستانه‌های دمایی مورد نیاز برای نرخ منتهای پارازیتسم زنبور *T. brassicae* با استفاده از مدل‌های غیرخطی Briere-1 و Lactin-2 برآورد شد. مدل Lactin-2 برازش مناسب‌تری با داده‌های مورد مطالعه داشت ( $SSE = 0.004833$ ,  $R^2_{adj} = 0.977$ ), مقادیر محاسبه شده آستانه دمایی پایین ( $T_{min}$ ), دمای بهینه ( $T_{opt}$ ) و آستانه دمایی بالا ( $T_{max}$ ) برای فعالیت پارازیتسم این دشمن طبیعی به‌ترتیب برابر با ۱۳/۲۰، ۳۱/۲۰ و ۳۵/۴۰ درجه سلسیوس برآورد شد.

واژگان کلیدی: مهار زیستی، نرخ پارازیتسم، آستانه‌های دمایی، تریکوگراما، مدل‌سازی

**Abstract**

Parasitism rate of *Trichogramma brassicae* Bezdenko at laboratory conditions with six constant temperatures of 15, 20, 25, 30, 32 and 35 ± 1 °C, relative humidity of 65 ± 5% and a light period of 16 h. was evaluated on the eggs of gelechiid moth *Sitotroga cerealella* (Olivier). Parasitism rate of *T. brassicae* was significantly affected by different temperatures. The highest (40.257 hosts) and the lowest (3.731 hosts) values of net parasitism rate ( $C_0$ ) was obtained at 32 and 15 °C, respectively. The transformation rate of host population to parasitoid offspring ( $Q_p$ ) was equal to 1 at all temperatures. The values of stable parasitism rate ( $\psi$ ) increased from 0.074 to 0.451 (host/parasitoid) with increasing temperature from 15 to 30 °C, but the values for this parameter at 32 and 35 °C significantly decreased. The highest recorded value for finite parasitism rate ( $\omega$ ) was obtained at 30 °C (0.654 day<sup>-1</sup>). The temperature thresholds for finite parasitism rate of *T. brassicae* were estimated by nonlinear models of Briere-1 and Lactin-2. The Lactin-2 better fitted the related data ( $SSE = 0.004833$ ,  $R^2_{adj} = 0.977$ ,  $AIC = -38.7438$ ). The obtained values for the lower temperature threshold ( $T_{min}$ ), optimum temperature ( $T_{opt}$ ) and upper temperature threshold ( $T_{max}$ ) of parasitism activity of this parasitoid were 13.20, 31.20 and 35.40 °C, respectively.

**Key words:** Biological control, Parasitism rate, Temperature thresholds, *Trichogramma*, Modeling**مقدمه**

را برنتافته و در مقام مقابله متوسل به استفاده از روش‌های گوناگون کنترل آفات می‌شوند. در این میان، مهم‌ترین روشی که امروزه در کشورهای مختلف، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، به‌منظور کاهش جمعیت آفات کشاورزی در کانون

هر ساله بخش قابل‌توجهی از تولیدات زیست‌بوم‌های کشاورزی (Agro-ecosystem) در اثر حمله آفات مختلف گیاهی از بین می‌رود. طبیعی است که تولیدکنندگان محصولات کشاورزی نیز زیان وارده

(Sorokina, 1999). در حال حاضر، گونه‌های مختلفی نظیر *Trichogramma pintoi* Voegelé و *Trichogramma embryophagum* (Hartig) *Trichogramma brassicae* Bezdenko به صورت تجاری در نقاط مختلف کشور ما و به منظور کنترل آفاتی نظیر کرم ساقه‌خوار برنج، کرم ساقه‌خوار ذرت، کرم غوزه پنبه، کرم سیب و کرم گلوگاه انار مورد استفاده قرار می‌گیرند (Jafari et al., 2014). در میان گونه‌های مختلف این خانواده، گونه *T. brassicae* بیشترین گسترش را در نقاط مختلف کشور ما دارا بوده و به عنوان گونه غالب کشور شناخته می‌شود (Arbab Tafti et al., 2004). این گونه هر ساله در اینسکتاریوم‌های مختلف کشور به صورت انبوه پرورش داده شده و در زیست‌بوم‌های مختلف کشاورزی رهاسازی می‌شود.

به منظور اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های مهار زیستی آفات گیاهی، ضروری است که تأثیر عوامل مختلف بر کارایی بیولوژیک دشمنان طبیعی مورد استفاده به دقت مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. در مطالعه صورت گرفته توسط Dutton et al. (1996) مشخص شد که عوامل محیطی کارایی بیولوژیک زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* را تحت تأثیر قرار می‌دهند. Schmidt (1994) بیان کرد که زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در محدوده دمایی ۱۰-۳۰ درجه سلسیوس قادر به تکمیل چرخه زندگی خود بود. اثرات میزبان‌های مختلف آزمایشگاهی روی پارامترهای جدول زندگی این پارازیتوئید توسط محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است (Iranipour et al., 2009; Lashgari et al., 2010). در پژوهشی دیگر، اثر برخی از سموم رایج مورد استفاده در زیست‌بوم‌های کشاورزی بر واکنش تابعی این زنبور پارازیتوئید مورد بررسی قرار گرفت (Jafari et al., 2014). Ranjbar Aghdam & Mahmoudian (2014) اثرات

توجه قرار گرفته است، استفاده از سموم شیمیایی می‌باشد. بر کسی پوشیده نیست که توسعه روزافزون کاربرد آفت‌کش‌ها عواقب جبران‌ناپذیر متعددی نظیر آلودگی‌های زیست‌محیطی، اثرات سوء روی موجودات غیرهدف، بروز مقاومت در آفات، پیدایش آفات ثانویه، طغیان مجدد آفات و از همه مهم‌تر تهدید سلامتی انسان را به دنبال داشته است. بر همین اساس، یافتن جایگزین‌های مناسب به منظور کاهش اثرات نامطلوب مذکور بسیار ضروری می‌باشد.

مهار زیستی (Biological control) از جمله راهکارهایی است که با اتکاء به عوامل مختلفی نظیر پارازیتوئیدها، شکارگرها و عوامل بیماری‌زا، جمعیت آفات هدف را به کمتر از آنچه در غیاب این عوامل وجود داشته است، کاهش می‌دهد. البته همانند سایر روش‌های مختلف مورد استفاده در مبارزه با آفات گیاهی، کارایی این روش نیز توسط فاکتورهای مختلفی نظیر گیاه میزبان، گونه آفت هدف، عوامل آب و هوایی و غیره تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

زنبورهای پارازیتوئید خانواده Trichogrammatidae از جمله مهم‌ترین عوامل بیولوژیک مورد استفاده در برنامه‌های مهار زیستی آفات گیاهی در نقاط مختلف دنیا می‌باشند که تاکنون بیش از ۲۰ گونه از این خانواده در نقاط مختلف دنیا به صورت تجاری و انبوه پرورش داده شده‌اند (Li, 1994). کارایی بیولوژیک مناسب و دامنه وسیع میزبانی به همراه سهولت نسبی پرورش آزمایشگاهی، گونه‌های مختلف این خانواده را به عنوان یکی از پرکاربردترین دشمنان طبیعی مورد استفاده در کشور ما در سالیان اخیر تبدیل کرده است (Lashgari et al., 2010). علی‌رغم این که فعالیت گونه‌های مختلف این خانواده روی تخم‌های متعلق به ۱۱ راسته از حشرات گزارش شده است، اما بال‌پولک‌داران میزبان ترجیحی این خانواده می‌باشند

شب‌پره بیدغلات، *Sitotroga cerealella* (Olivier)، در باغات سمپاشی نشده سیب منطقه کاکان واقع در شهرستان بویراحمد نصب شدند. با گذشت ۳-۴ روز و مشاهده علائم پارازیتسم (سیاه شدن تخم‌ها)، تله‌های مذکور از سطح باغ جمع‌آوری شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، درون ظرف‌های پلاستیکی استوانه‌ای شکل (ارتفاع ۲۵ و قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر) مستقر شدند. تخم‌های جمع‌آوری شده در اتاقک رشد با دمای  $1 \pm 25$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی  $5 \pm 65$  درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگه‌داری شدند.

پس از خروج حشرات کامل زنبورهای پارازیتوئید، به‌منظور تشخیص دقیق گونه، اسلایدهای میکروسکوپی از ژنیتالیا، شاخک و پاهای هر دو جنس (نر و ماده) تهیه و به‌همراه نمونه‌های حشرات کامل به بخش رده‌بندی حشرات مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور ارسال شد.

در این بررسی، از تخم‌های شب‌پره بیدغلات (تهیه شده از اینسکتاریوم مزرعه سبز شهرستان بویراحمد) برای تشکیل کلنی زنبور *T. brassicae* استفاده شد. زنبورهای پارازیتوئید پس از خروج از تخم میزبان به ظروف ویژه پرورش (ارتفاع ۳۵ و قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر) منتقل شدند. به‌منظور تخم‌ریزی حشرات بالغ، تخم‌های شب‌پره *S. cerealella* با استفاده از محلول آب قند رقیق روی قطعات کاغذ چسبانده شده و به‌صورت روزانه در ظروف ویژه پرورش قرار داده شدند. در هر ظرف کلنی حدود ۱۵۰ جفت زنبور تریکوگراما وجود داشت که روزانه تخم‌های شب‌پره بیدغلات که روی قطعات کاغذ چسبانده شده بودند، به‌منظور تخم‌ریزی در اختیار آن‌ها قرار داده می‌شد. تخم‌های جمع‌آوری شده از ظروف ویژه تخم‌ریزی به‌منظور تشکیل کلنی آزمایشگاهی و انجام آزمایش‌ها

میزبان‌های مختلف گیاهی بر ویژگی‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* را مورد بررسی قرار دادند. (Loundgren & Heimpel 2002) تأثیر روش‌های مختلف رهاسازی زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* بر میزان موفقیت آن در برنامه‌های مهار زیستی آفات گیاهی را مورد مطالعه قرار داده‌اند.

بدون تردید، دما مهم‌ترین عامل غیرزنده تأثیرگذار بر کارایی بیولوژیک دشمنان طبیعی مختلف مورد استفاده در برنامه‌های مهار زیستی آفات گیاهی می‌باشد (Zamani et al., 2006; Haghani et al., 2007; Zamani et al., 2007; Taghizadeh et al., 2008). علی‌رغم استفاده گسترده از زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در قالب برنامه‌های مهار زیستی اجرا شده در کشور ما، مرور منابع موجود حاکی از آن است که تاکنون ارزیابی جامعی در ارتباط با بررسی اثر دما روی کارایی بیولوژیک این‌گونه صورت نگرفته است. علاوه بر این، آستانه‌های دمایی موردنیاز به‌منظور فعالیت پارازیتسم این دشمن طبیعی نیز مورد مطالعه قرار نگرفته است. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف پرکردن خلأ موجود و به‌منظور ارزیابی اثرات دماهای مختلف روی پارامترهای پارازیتسم این گونه و برآورد آستانه‌های دمایی مورد نیاز به‌منظور فعالیت پارازیتسم زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* صورت پذیرفت. نتایج حاصل از این تحقیق کمک قابل توجهی به بهبود کارایی استفاده از این زنبور پارازیتوئید در زیست بوم‌های زراعی و باغی نقاط مختلف کشور خواهد کرد.

#### مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* و تشکیل کلنی آزمایشگاهی

به‌منظور تشکیل کلنی آزمایشگاهی زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* ابتدا تله‌های حاوی تخم

به منظور ثبت میزان تخم‌ریزی زنبورهای *T. brassicae* در هر دما، روزانه یک دسته تخم (تقریباً ۱۵۰ عددی) از تخم‌های شب‌پره بیدغلات که روی نوارهای کاغذی چسبیده شده بودند درون هر لوله آزمایش قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت، تخم‌های مذکور از لوله‌های آزمایش خارج و با دسته تخم‌های جدید جایگزین شدند. تخم‌های جمع‌آوری شده مربوط به هر جفت به صورت جداگانه در لوله‌های آزمایش قرار داده شدند تا این‌که تغییر رنگ تخم‌های پارازیت شده صورت گیرد. بر همین اساس، تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط هر زنبور ماده در هر روز ثبت شد. آزمایش در تمامی دماهای مورد مطالعه به همین شیوه و تا زمان مرگ آخرین فرد ادامه یافت.

#### آنالیز داده‌ها

از داده‌های به دست آمده مربوط به پارازیتسیم روزانه زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در هر دما به منظور محاسبه نرخ پارازیتسیم ویژه سن-مرحله زیستی (Age-stage specific parasitism rate [ $C_{xj}$ ]) استفاده شد. این پارامتر نشان دهنده تعداد تخم‌های پارازیت شده توسط زنبورهای پارازیتوئید در سن  $x$  و مرحله زیستی  $j$  می‌باشد. نرخ پارازیتسیم ویژه سنی (Age-specific parasitism rate [ $k_x$ ]) که بیانگر میانگین تخم‌های پارازیت شده توسط زنبورهای پارازیتوئید در سن  $x$  می‌باشد با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Chi & Yang, 2003):

$$k_x = \frac{\sum_{j=1}^{\beta} S_{xj} C_{xj}}{\sum_{j=1}^{\beta} S_{xj}}$$

در فرمول فوق  $\beta$  نشان دهنده تعداد مراحل زیستی و  $S_{xj}$  نرخ بقای ویژه سن-مرحله زیستی (Age-stage specific survival rate) می‌باشد ( $x =$  سن به روز و  $j =$  مرحله زیستی). علاوه بر این، نرخ خالص

مورد استفاده قرار گرفتند. در طول مراحل انجام آزمایش، در فواصل زمانی ۲۰ روزه، جمعیت طبیعی با استفاده از تله تخم از طبیعت جمع‌آوری شده و به کلنی آزمایشگاهی مورد مطالعه اضافه شد.

#### مطالعه اثر دما روی پارامترهای پارازیتسیم زنبور

##### *T. brassicae* پارازیتوئید

ارزیابی اثرات دما روی پارامترهای پارازیتسیم زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در شش دمای ثابت ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۲ و  $35 \pm 1$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی  $5 \pm 65$  درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام پذیرفت. بدین منظور، ابتدا تخم‌های جمع‌آوری شده از کلنی آزمایشگاهی موجود به هر یک از دماهای ذکر شده انتقال داده شده و با استفاده از آن‌ها در هر دما کلنی جداگانه‌ای از زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* تشکیل شد. از تخم‌های تهیه شده از کلنی زنبور پارازیتوئید در هر دما به منظور انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

در شروع آزمایش‌ها، در هر دما ۱۰۰ عدد تخم پارازیت شده بیدغلات انتخاب شد. تخم‌های جدا شده به صورت انفرادی (هر تخم روی یک تکه کاغذ) در ۱۰۰ لوله آزمایش (ارتفاع ۱۰ و قطر دهانه ۱/۶ سانتی‌متر) که دهانه آن‌ها با پنبه و توری ارگان‌زا مسدود شده بود، قرار گرفتند. تخم‌های مذکور به صورت روزانه بازدید و تغییرات صورت گرفته ثبت شد. با اتمام مرحله رشدی نابالغ زنبورهای پارازیتوئید و خروج حشرات بالغ، افراد نر و ماده در هر دما با یکدیگر جفت شده و هر جفت به یک لوله آزمایش جدید منتقل شدند. به منظور تغذیه حشرات بالغ، از نوارهای کاغذی آغشته به محلول آب عسل ۲۰٪ که درون لوله‌های آزمایش قرار می‌گرفتند، استفاده شد.

می‌باشد از تلفیق نرخ منتهای افزایش جمعیت ( $\lambda$ )، نرخ پارازیتسم ویژه سن-مرحله زیستی ( $C_{xj}$ ) و ساختار پایدار ویژه سن-مرحله زیستی (Stable age-stage structure [ $a_{xj}$ ]) و براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\omega = \lambda \varphi = \lambda \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} a_{xj} c_{xj}$$

با در نظر گرفتن مطالب فوق، نرخ ذاتی پارازیتسم نیز از طریق رابطه  $\ln(\omega)$  محاسبه خواهد شد. به عبارت دیگر، می‌توان این‌گونه بیان کرد که ظرفیت پارازیتسم به صورت نمایی افزایش خواهد یافت ( $\omega = e^{(\text{intrinsic parasitism rate})}$ ).

داده‌های مربوط به نرخ پارازیتسم زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* با استفاده از نرم‌افزار آماری CONSUME-MSChart تجزیه و تحلیل شدند (Chi, 2014a). میانگین، واریانس و خطای معیار پارامترهای پارازیتسم نیز با استفاده از تکنیک بوت استرپ و با ۱۰۰۰/۰۰۰ نمونه‌برداری محاسبه شد. به منظور مقایسه داده‌های به دست آمده از بوت استرپ در دماهای مختلف مورد مطالعه نیز از تکنیک بوت استرپ جفت شده (Paired bootstrap test) و نرم‌افزار آماری TWOSEX-MSChart استفاده شد (Chi, 2014b).

مدل‌سازی نرخ منتهای پارازیتسم به منظور تخمین آستانه‌های دمایی مورد نیاز به منظور فعالیت پارازیتسم زنبور پارازیتوئید *T. brassicae*، با استفاده از مدل‌های غیرخطی Briere-1 و Lactin-2 و براساس روابط زیر صورت پذیرفت (Lactin et al., 1995; Briere et al., 1999):

$$\text{Briere-1} \quad \omega = aT(T - T_{min})(T_{max} - T)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Lactin-2} \quad \omega = e^{\rho T} - e^{\left(\rho T_m - \frac{T_m - T}{\Delta}\right)} + \lambda$$

در این روش، دماهای مختلف مورد مطالعه به عنوان متغیر مستقل ( $X$ ) و مقادیر محاسبه شده نرخ منتهای پارازیتسم ( $\omega$ ) زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در هر دما

پارازیتسم ویژه سنی (Age-specific net parasitism rate) ( $q_x$ ) نیز از معادله زیر محاسبه شد:

$$q_x = l_x k_x$$

نرخ خالص پارازیتسم ( $C_0$ ) (Net parasitism rate)

که بیانگر میانگین تخم‌های پارازیت شده توسط یک فرد در تمام طول عمر خود می‌باشد نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Chi & Yang, 2003):

$$C_0 = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} S_{xj} C_{xj} = \sum_{x=0}^{\infty} l_x k_x$$

براساس فرمول فوق، تعداد کل تخم‌های پارازیت شده توسط یک کوهورت با تعداد افراد  $N$  از طریق رابطه  $NC_0$  محاسبه خواهد شد.

نرخ تبدیل جمعیت میزبان به نتاج پارازیتوئید (Transformation rate [ $Q_p$ ]) که بیانگر میانگین میزبان مورد نیاز برای یک پارازیتوئید به منظور تولید یک تخم می‌باشد از طریق رابطه زیر برآورد شد (Chi et al., 2011):

$$Q_p = \frac{C_0}{R_0}$$

نرخ پایدار پارازیتسم ( $\psi$ ) (Stable parasitism rate)

بیانگر ظرفیت کل پارازیتسم یک جمعیت پایدار (وقتی اندازه کل برابر با ۱ است) می‌باشد که از طریق رابطه زیر محاسبه شد. در این رابطه،  $a_{xj}$  نسبتی از افراد یک جمعیت پایدار در سن  $x$  و مرحله سنی  $j$  می‌باشد (ساختار پایدار ویژه سن-مرحله زیستی).

$$l = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\beta} a_{xj} c_{xj}$$

با توجه به این‌که جمعیت پارازیتوئید به اندازه نرخ منتهای افزایش جمعیت ( $\lambda$ ) افزایش می‌یابد، بنابراین ظرفیت کل پارازیتسم نیز به صورت  $\psi \lambda$  افزایش خواهد یافت. نرخ منتهای پارازیتسم ( $\omega$ ) (Finite parasitism rate) که بیانگر پتانسیل پارازیتسم یک جمعیت پارازیتوئید

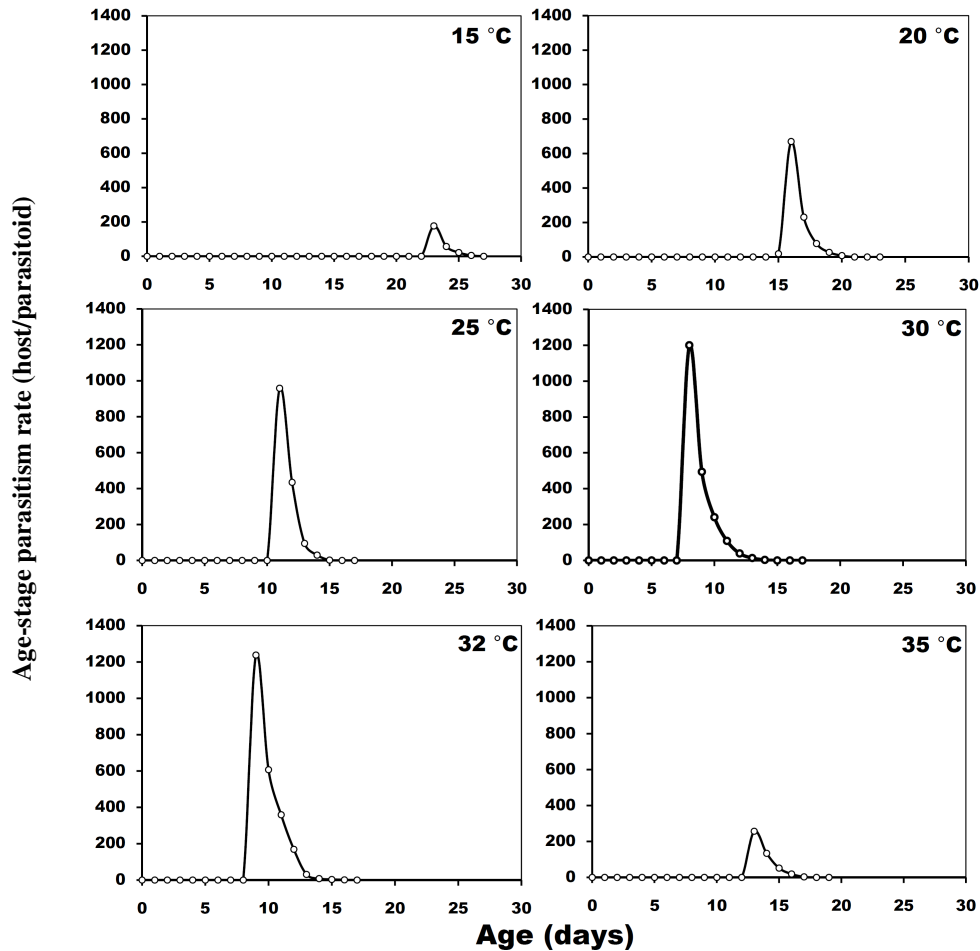
مورد نیاز برای تکمیل رشد و نمو مراحل نابالغ خود، تعداد روزهای بیشتری را در این دوره رشدی سپری کند. طولانی شدن دوره رشدی نابالغ در دماهای پایین در سایر پژوهش‌های صورت گرفته در ارتباط با ارزیابی اثر دما روی بیولوژی دشمنان طبیعی نیز گزارش شده است (Golizadeh et al., 2008; Kouhjeni Gorji et al., 2008). علاوه بر این، تعداد میزبان پارازیت شده به ازای هر فرد پارازیتوئید نیز با افزایش دما افزایش یافت به طوری که نقطه اوج میزان این پارامتر در دماهای ۳۰ و ۳۲ درجه سلسیوس به ترتیب برای روز هشتم (۴۰ میزبان/پارازیتوئید) و روز نهم (۴۱/۲۷ میزبان/پارازیتوئید) ثبت شد و با افزایش دما از ۳۲ به ۳۵ درجه سلسیوس، بیشینه میزبان پارازیت شده به ازای هر فرد پارازیتوئید نیز از ۴۱/۲۷ به ۹/۵۲ کاهش یافت. این موضوع گواه آن است که در فاصله دمایی بین ۳۰ و ۳۲ درجه سلسیوس بهترین شرایط دمایی برای فعالیت پارازیتسیم این پارازیتوئید فراهم بوده و به احتمال بسیار زیاد دمای بهینه به منظور رشد و نمو ( $T_{opt}$ ) این زنبور پارازیتوئید نیز می‌تواند در همین دامنه دمایی قرار داشته باشد. درحالی‌که کاهش پارازیتسیم در دمای ۳۵ درجه سلسیوس احتمالاً حاکی از نزدیک شدن دمای مورد مطالعه به آستانه دمایی بالای ( $Upper\ temperature$ ) باشد ( $threshold [T_{max}]$ ) این پارازیتوئید می‌باشد (Akbari et al., 2011). تأثیر ۳ دمای ثابت ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس بر پارازیتسیم *T. brassicae* روی تخم‌های *Plutella xylostella* (L.) را مورد مطالعه قرار دادند که نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین نرخ پارازیتسیم در دمای ۲۵ درجه سلسیوس می‌باشد (۵۲/۸۷ تخم). تفاوت‌های مشاهده شده میان نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های به دست آمده در پژوهش حاضر را می‌توان به تفاوت در گونه میزبان مورد استفاده و نیز پیشینه پرورش گونه پارازیتوئید مرتبط دانست.

به عنوان متغیر وابسته ( $Y$ ) در نظر گرفته شدند. سپس با توجه به مقادیر برآورد شده نرخ متناهی پارازیتسیم در دماهای مختلف توسط مدل‌های غیرخطی مذکور، آستانه‌های دمایی مورد نیاز این پارامتر محاسبه شد. مدل‌سازی نرخ متناهی پارازیتسیم زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* و همچنین محاسبه پارامترهای لازم به منظور ارزیابی میزان برآزش مدل‌های غیرخطی مذکور (مجموع مربعات باقیمانده  $SSE$ ، ضریب تبیین تصحیح شده  $R^2_{adj}$  و ضریب آکائیکه  $AIC$ )، با استفاده از نرم‌افزار آماری JMP انجام پذیرفت.

## نتایج و بحث

حشرات از گروه موجودات خونسرد می‌باشند و بر همین اساس رشد و نمو آن‌ها کاملاً وابسته به دمای محیط می‌باشد. به بیان دیگر، دمای محیط به عنوان مهم‌ترین فاکتور غیرزنده، بیشترین تأثیر را بر رشد و کارایی عوامل بیولوژیک مورد استفاده در برنامه‌های مهار زیستی آفات گیاهی دارد (Roy et al., 2002).

تأثیر دما بر نرخ پارازیتسیم ویژه سن-مرحله زیستی ( $C_{xy}$ ) زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل با توجه به این‌که تنها پارازیتوئیدهای بالغ ماده قادر به پارازیت کردن تخم‌های میزبان می‌باشند و سایر مراحل زیستی زنبور (تخم، لارو، شفیره و زنبورهای بالغ نر) از این توانایی برخوردار نمی‌باشند، در هر دما تنها یک نمودار دیده می‌شود. همان‌گونه که در این شکل و جدول ۱ نیز مشخص است، فاصله زمانی میان اولین مرحله زندگی (تخم) تا شروع پارازیتسیم در دماهای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۲ و ۳۵ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۳/۱۳، ۱۵/۹۶، ۱۱/۱۱، ۸/۰۴، ۹/۱۴ و ۱۳/۲۰ روز می‌باشد که بیشترین طول این دوره در دمای ۱۵ درجه سلسیوس ثبت شد. مهم‌ترین دلیل این مسأله دمای پایین شرایط پرورش می‌باشد که زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* را وادار می‌کند تا به منظور دریافت مقدار گرمای



شکل ۱- نرخ پارازیتسیم ویژه سن-مرحله زیستی ( $C_{xy}$ ) زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* در دماهای مختلف.

Fig. 1. Age-stage specific parasitism rate ( $C_{xy}$ ) of *Trichogramma brassicae* at different temperatures.

جدول ۱- نرخ پارازیتسیم زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* در دماهای مختلف.

Table 1. Parasitism rate of *Trichogramma brassicae* at different temperatures.

	Temperatures (°C)					
	15	20	25	30	32	35
TPOP (days)*	23.13 ± 0.03 <sup>***</sup>	15.96 ± 0.03 <sup>b</sup>	11.11 ± 0.03 <sup>d</sup>	8.04 ± 0.02 <sup>f</sup>	9.14 ± 0.03 <sup>e</sup>	13.20 ± 0.04 <sup>c</sup>
Net parasitism rate ( $C_0$ ) (hosts)	3.731 ± 0.644 <sup>d</sup>	17.234 ± 2.448 <sup>b</sup>	25.352 ± 3.352 <sup>ab</sup>	34.990 ± 4.680 <sup>a</sup>	40.257 ± 5.361 <sup>a</sup>	7.745 ± 1.205 <sup>c</sup>
Transformation rate ( $Q_p$ )	≈ 1	≈ 1	≈ 1	≈ 1	≈ 1	≈ 1
Stable parasitism rate ( $\psi$ ) (hosts/parasitoid)	0.074 ± 0.006 <sup>d</sup>	0.184 ± 0.011 <sup>c</sup>	0.302 ± 0.018 <sup>b</sup>	0.451 ± 0.029 <sup>a</sup>	0.415 ± 0.025 <sup>a</sup>	0.165 ± 0.012 <sup>c</sup>
Finite parasitism rate ( $\omega$ ) (day <sup>-1</sup> )	0.078 ± 0.007 <sup>d</sup>	0.216 ± 0.015 <sup>c</sup>	0.392 ± 0.027 <sup>b</sup>	0.654 ± 0.051 <sup>a</sup>	0.586 ± 0.042 <sup>a</sup>	0.189 ± 0.017 <sup>c</sup>

\*کل دوره قبل از تخم‌ریزی (از تخم تا شروع اولین تخم‌ریزی).

†Total pre-ovipositional period (from egg to first oviposition).

\*\*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون بوت استرپ جفت شده می‌باشند.

\*\*Means with the same letters are not significantly different using paired bootstrap procedure.

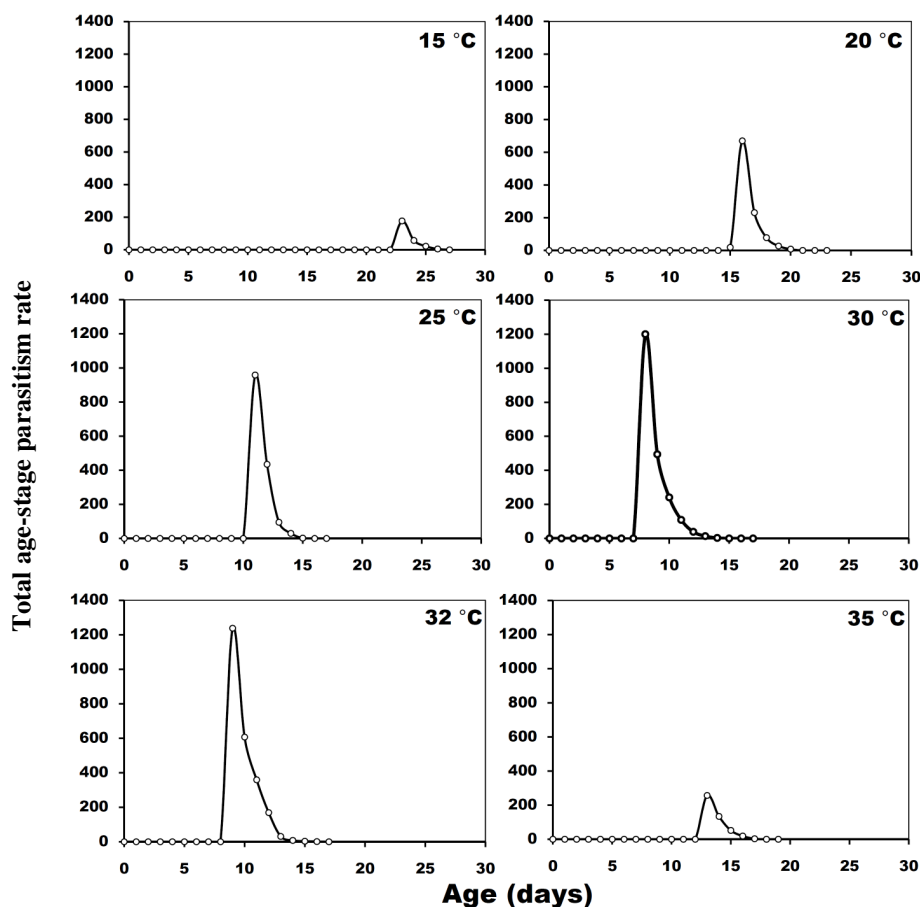
تمامی دماهای مورد مطالعه، مساوی و کمتر از نرخ پارازیتسیم ویژه سنی می‌باشد. در شکل ۳ علاوه بر  $k_x$  و  $q_x$  روند تغییرات نرخ بقای ویژه سنی ( $l_x$ ) زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در دماهای مختلف نیز نشان داده شده است. همان‌گونه که در این نمودار نیز مشخص می‌باشد، به دلیل آن‌که تا زمان پایان تخم‌ریزی زنبورهای پارازیتوئید در دماهای مختلف مورد مطالعه نرخ بقای ویژه سنی برابر با ۱ می‌باشد، لذا عملاً تفاوتی میان نرخ پارازیتسیم ویژه سنی و نرخ خالص پارازیتسیم ویژه سنی مشاهده نشد و نمودارهای مربوطه نیز در بیشتر موارد کاملاً منطبق بر یکدیگر می‌باشند (شکل ۳).

نرخ خالص پارازیتسیم ( $C_0$ ) زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در ۶ دمای ثابت مورد مطالعه در این پژوهش در جدول ۱ ذکر شده است. نرخ خالص پارازیتسیم نشان دهنده تعداد کل میزبان پارازیت شده توسط یک پارازیتوئید در تمام طول عمر خود می‌باشد. مقادیر محاسبه شده این پارامتر که برابر با مساحت سطح زیر منحنی نرخ خالص پارازیتسیم ویژه سنی ( $q_x$ ) می‌باشد (شکل ۳)، به طور معنی‌داری در دماهای مختلف مورد بررسی متفاوت بود. با افزایش دما از ۱۵ به ۳۲ درجه سلسیوس مقادیر محاسبه شده این پارامتر نیز به تدریج افزایش یافته و در دمای ۳۲ درجه سلسیوس به بیشترین میزان خود رسید (۴۰/۲۵۷ میزبان). با افزایش دما از ۳۲ به ۳۵ درجه سلسیوس مقدار محاسبه شده این پارامتر به حدود یک پنجم کاهش یافت. البته باتوجه به این نکته که در جمعیت پارازیتوئیدها تنها افراد ماده قادر به تخم‌ریزی در بدن میزبان می‌باشند، مقادیر ثبت شده این پارامتر در جمعیت یک پارازیتوئید معمولاً پایین‌تر از مقادیر ثبت شده در جمعیت شکارگرها می‌باشد (Chi et al., 2011; Farhadi et al., 2011; Khanamani et al., 2015).

علاوه بر این، نرخ کل پارازیتسیم ویژه سن-مرحله زیستی زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در دماهای مختلف مورد مطالعه در شکل ۲ ذکر شده است و بیانگر مجموع میزبان پارازیت شده توسط تمامی زنبورهای پارازیتوئید در سن  $x$  و مرحله رشدی  $z$  می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده، با رسیدن زنبورهای پارازیتوئید به مرحله بالغ، بلافاصله بیشینه میزان تخم‌ریزی در تمامی دماهای مورد مطالعه مشاهده شد. پس از رسیدن میزان پارازیتسیم به بیشینه میزان خود، به تدریج با افزایش سن زنبورهای بالغ از میزان پارازیتسیم نیز کاسته شد و در نهایت با مرگ افراد ماده به صفر رسید. این نکته نشانگر آن است که زنبورهای ماده *T. brassicae* ترجیح می‌دهند بیشتر تخم‌های خود را بلافاصله پس از بلوغ درون تخم میزبان قرار دهند. این مسأله در پژوهش صورت گرفته توسط Yazdani Khorasgani et al. (2006) نیز گزارش شده است. همانند پارازیتسیم ویژه سن-مرحله زیستی ( $C_{zj}$ )، بیشترین میزان پارازیتسیم کل نیز در دماهای ۳۰ و ۳۲ درجه سلسیوس مشاهده شد (شکل ۲). اختلال در روند پارازیتسیم این پارازیتوئید در دماهای ۱۵ و ۳۵ درجه سلسیوس را می‌توان به ایجاد اختلال در فعالیت‌های آنزیمی به دلیل نزدیک شدن دمای محیط پرورش به آستانه‌های دمایی پایین (Lower temperature threshold [ $T_{min}$ ]) و بالا به منظور رشدونمو این پارازیتوئید مرتبط دانست (Sharp et al., 1977).

تغییرات نرخ پارازیتسیم ویژه سنی ( $k_x$ ) زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در دماهای مختلف مورد مطالعه در شکل ۳ نمایش داده شده است. نرخ پارازیتسیم ویژه سنی نشان دهنده میانگین تعداد میزبان پارازیت شده توسط زنبورهای پارازیتوئید *T. brassicae* در سن  $x$  می‌باشد. با در نظر گرفتن احتمال بقای افراد، می‌توان نرخ خالص پارازیتسیم ویژه سنی ( $q_x$ ) را نیز در شکل ۳ مشاهده کرد ( $q_x = l_x k_x$ ). بر همین اساس، مقادیر محاسبه شده نرخ خالص پارازیتسیم ویژه سنی در





شکل ۲- نرخ کل پارازیتسیم ویژه سن-مرحله زیستی زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* در دماهای مختلف.  
**Fig. 2.** Total age-stage specific parasitism rate ( $C_{xj}$ ) of *Trichogramma brassicae* at different temperatures.

خواهد بود (Ebrahimi et al., 2013). (Chi 2003) در پژوهش خود از این پارامتر به منظور تشریح رابطه میان جمعیت طعمه و تولید نتاج شکارگر استفاده کرد. در جمعیت یک شکارگر نرخ شکارگری ویژه سنی برابر با تعداد طعمه شکار شده توسط یک فرد شکارگر در سن  $x$  می‌باشد، در صورتی که نرخ باروری ویژه سنی مساوی با تعداد نتاج تولید شده توسط یک فرد ماده در همان سن بوده و بر همین اساس معمولاً در جمعیت شکارگرها نرخ شکارگری با باروری متفاوت است و  $R_0 < C_0$  می‌باشد. در جمعیت پارازیتوئیدها در صورتی که تمامی تخم‌های تولید شده به مرحله بلوغ رسیده و با موفقیت از میزبان خارج شوند (نرخ بقای مراحل نابالغ برابر با یک باشد)، در

مقادیر محاسبه شده نرخ تبدیل تعداد میزبان پارازیت شده به نتاج پارازیتوئید ( $Q_p$ ) نیز در جدول ۱ ذکر شده است. نرخ تبدیل یک تخمین دموگرافیک از ارتباط بین نرخ پارازیتسیم و نرخ تولید مثل ارائه می‌دهد (Nikooei et al., 2015) که مقدار آن در همه دماهای مورد مطالعه در پژوهش حاضر برابر با ۱ بود (جدول ۱). اگر پارازیتوئید در بدن میزبان خود تنها یک تخم گذاشته و تخم‌های مذکور نیز بتوانند به مرحله بلوغ برسند، نرخ پارازیتسیم برابر با نرخ تولیدمثل آن می‌باشد. اما اگر برخی تخم‌ها پس از تفریح موفق به از بین بردن میزبان خود شده ولی به هر دلیلی به مرحله بلوغ نرسند، آن‌گاه مقادیر محاسبه شده نرخ پارازیتسیم با نرخ باروری متفاوت

این پارامتر می‌باشد. پایین بودن مقدار این پارامتر در دمای ۱۵ درجه سلسیوس به دلیل مقادیر پایین نرخ پارازیتسیم ویژه سنی در این دما می‌باشد (شکل ۱). علاوه بر این، مقادیر پایین این پارامتر در دمای ۳۵ درجه سلسیوس نیز از دلایل اصلی کاهش مقدار نرخ متناهی پارازیتسیم در این دما می‌باشد.

در مجموع نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از آن است که کارایی پارازیتسیم زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در دماهای مختلف مورد مطالعه به طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد. اطلاعات مربوط به برازش مقادیر نرخ متناهی پارازیتسیم ( $\omega$ ) در دماهای مختلف با استفاده از ۲ مدل غیرخطی Briere-1 و Lactin-2 در جدول ۲ و شکل ۴ نمایش داده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که علی‌رغم این‌که مدل‌های غیرخطی مورد استفاده در پژوهش حاضر اغلب به منظور برآورد آستانه‌های دمایی مورد نیاز برای نرخ رشد حشرات مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما توانایی آن‌ها در تخمین آستانه‌های دمایی مورد نیاز نرخ متناهی پارازیتسیم نیز قابل توجه می‌باشد. براساس نتایج ذکر شده در جدول ۲، علی‌رغم این‌که هر ۲ مدل مورد استفاده به خوبی قادر به برازش داده‌های مذکور می‌باشند، مدل غیرخطی Lactin-2 به دلیل دارا بودن مقادیر  $SSE$  پایین‌تر،  $R^2_{adj}$  بالاتر و هم‌چنین مقدار کمتر ضریب  $AIC$  از نظر آماری انطباق بیشتری با داده‌های حاصل از این پژوهش داشته است. بر همین اساس، به منظور فعالیت پارازیتسیم این دشمن طبیعی آستانه دمایی پایین ۱۳/۲۰ درجه سلسیوس، دمای بهینه ۳۱/۲۰ درجه سلسیوس و آستانه دمایی بالا ۳۵/۴۰ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۲ و شکل ۴). این مسأله با اظهارات Schmidt (1994) که محدوده فعالیت زنبورهای پارازیتوئید خانواده Trichogrammatidae را ۱۰-۳۵ درجه سلسیوس عنوان کرده است تا حد زیادی

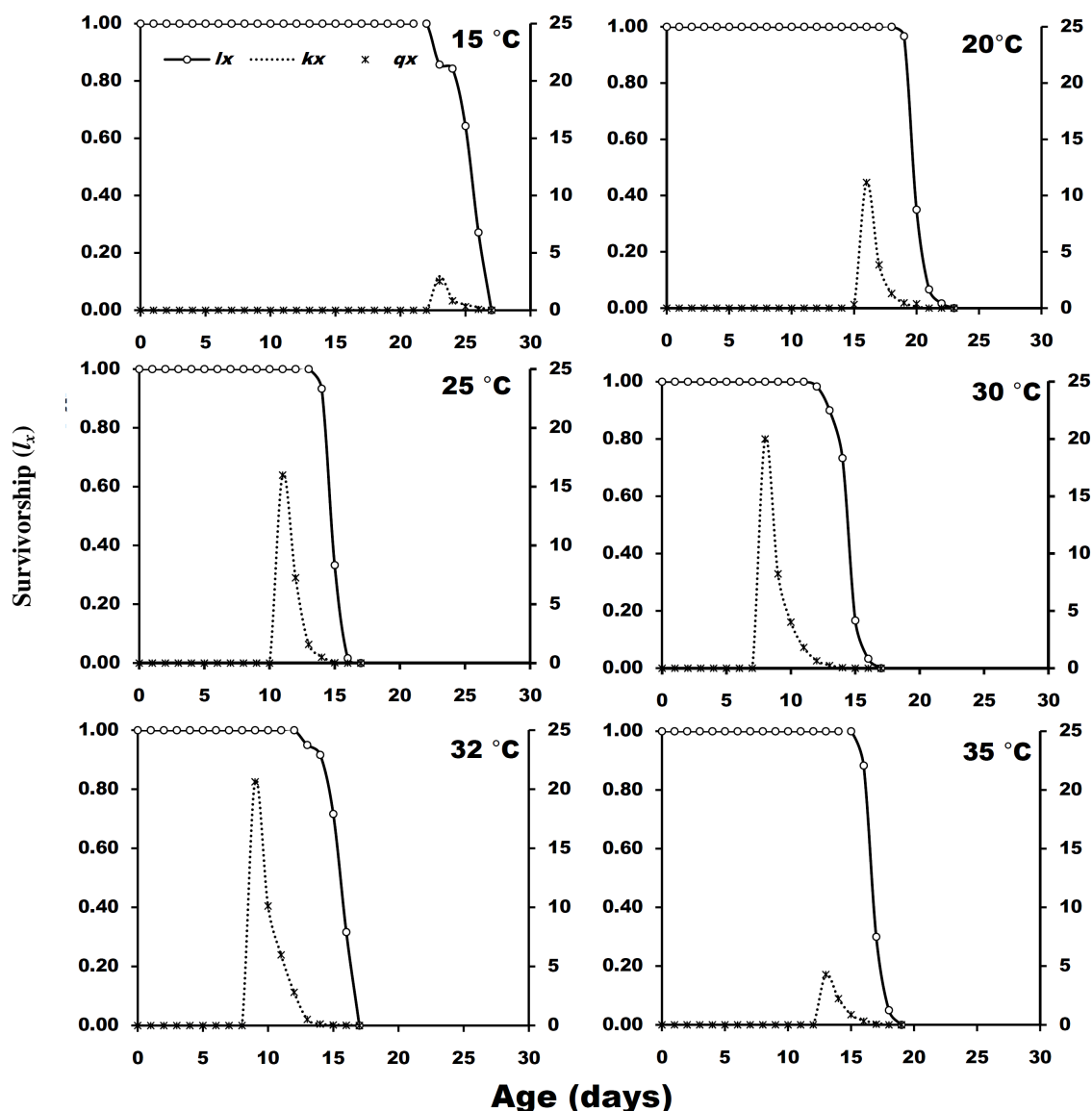
آن‌صورت  $R_0 = C_0$  خواهد بود. بر همین اساس، اگر پارازیتوئیدها تنها یک تخم در بدن میزبان خود قرار دهند، آن‌گاه مقادیر محاسبه شده نرخ تبدیل برابر با ۱ یا بسیار نزدیک به ۱ می‌باشد (همانند نتایج حاصل از پژوهش حاضر). اما در صورتی‌که تعداد تخم‌های گذاشته شده بیشتر از ۱ باشد، آن‌گاه مقادیر محاسبه شده  $Q_p$  کمتر از ۱ خواهد بود.

علاوه بر نرخ خالص پارازیتسیم و نرخ تبدیل، مقادیر نرخ پایدار ( $\psi$ ) و متناهی پارازیتسیم ( $\omega$ ) زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در دماهای مختلف مورد مطالعه نیز در جدول ۱ ذکر شده است. براساس نتایج به دست آمده، مقادیر نرخ پایدار پارازیتسیم از ۰/۰۷۴ (میزبان/پارازیتوئید) در دمای ۱۵ تا ۰/۴۵۱ (میزبان/پارازیتوئید) در دمای ۳۰ درجه سلسیوس متغیر بود.

نرخ ذاتی افزایش جمعیت ( $r$ ) مهم‌ترین پارامتر دموگرافیک مورد استفاده به منظور تخمین پتانسیل رشد جمعیت دشمنان طبیعی مورد استفاده در برنامه‌های مهار زیستی آفات گیاهی می‌باشد (Sedaratian et al., 2014). اما علاوه بر نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی پارازیتسیم ( $\omega$ ) نیز پارامتر استاندارد است که با در نظر گرفتن نرخ متناهی افزایش جمعیت ( $\lambda$ )، ساختار سن-مرحله زیستی جمعیت و نرخ پارازیتسیم ویژه سن-مرحله زیستی ( $C_{ij}$ ) کمک قابل توجهی به ارزیابی و مقایسه میزان کارایی دشمنان طبیعی مورد استفاده در قالب برنامه‌های مهار زیستی خواهد کرد (Chi et al., 2011, Nikooei et al., 2015). مقادیر ثبت شده نرخ متناهی پارازیتسیم زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* در دماهای مختلف مورد مطالعه بیانگر آن است که در صورت پایداری جمعیت پارازیتوئید و با فرض ۱ بودن جمعیت آن، ظرفیت پارازیتسیم در دماهای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۲ و ۳۵ درجه سلسیوس به ترتیب برابر با ۰/۰۷۸، ۰/۲۱۶، ۰/۳۹۲، ۰/۶۵۴، ۰/۵۸۶ و ۰/۱۸۹ (بر روز) می‌باشد که حاکی از تأثیر معنی‌دار دما بر

میزبان، گونه گیاهی مورد مطالعه، رطوبت نسبی محیط و نیز می‌توانند کارایی بیولوژیک زنبور *T. brassicae* را تحت تأثیر قرار دهند که به نظر می‌رسد انجام بررسی‌های بیشتر در این زمینه به منظور ارزیابی دقیق‌تر کارایی بیولوژیک این پارازیتوئید در شرایط مختلف محیطی بسیار لازم و ضروری می‌باشد.

هم‌خوانی دارد. مقادیر محاسبه شده دمای بهینه حاکی از گرمادوست بودن زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* می‌باشد. در نهایت می‌توان این‌گونه بیان کرد که دمای محیط تأثیر غیرقابل انکاری بر فعالیت پارازیتسم این زنبور پارازیتوئید دارد. علاوه بر بررسی‌های صورت گرفته در پژوهش حاضر، عوامل دیگری نظیر گونه آفت



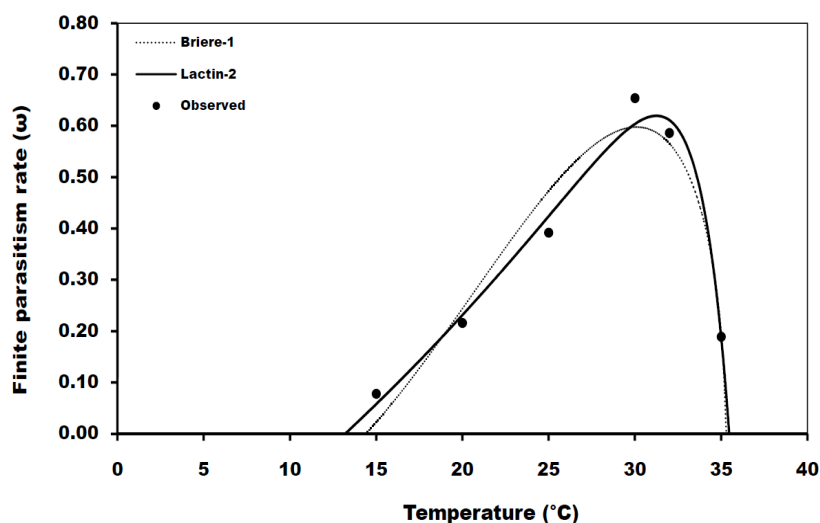
شکل ۳- بقای ویژه سنی ( $l_x$ )، نرخ پارازیتسم ویژه سنی ( $k_x$ ) و نرخ خالص پارازیتسم ویژه سنی ( $q_x$ ) زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* در دماهای مختلف.

Fig. 3. Age specific survivorship ( $l_x$ ), age specific parasitism rate ( $k_x$ ) and age specific net parasitism rate ( $q_x$ ) of *Trichogramma brassicae* at different temperatures.

جدول ۲- آستانه‌های دمایی تخمین زده شده نرخ متناهی پارازیتسیم ( $\omega$ ) زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* و نکویی برازش دو مدل غیرخطی.

**Table 2.** Estimated temperature thresholds of finite parasitism rate ( $\omega$ ) of *Trichogramma brassicae* and goodness of fit of two nonlinear models.

Models	Estimated parameters	Temperature thresholds		
		$T_{min}$	$T_{opt}$	$T_{max}$
<b>Briere-1</b>			14.40	30.10
	$a$	0.000558		
	$R^2_{adj}$	0.935		
	$SSE$	0.013918		
	$AIC$	-32.3982		
<b>Lactin-2</b>			13.20	31.20
	$p$	0.02315		
	$T_m$	37.14378		
	$\Delta$	1.770135		
	$\lambda$	-1.35737		
	$R^2_{adj}$	0.977		
	$SSE$	0.004833		
	$AIC$	-38.7438		



شکل ۴- مدل‌سازی نرخ متناهی پارازیتسیم ( $\omega$ ) زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* در دماهای مختلف با مدل‌های غیرخطی Briere-1 و Lactin-2.

**Fig. 4.** Modeling finite parasitism rate ( $\omega$ ) of *Trichogramma brassicae* at different temperatures using nonlinear models of Briere-1 and Lactin-2.

اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاهی لازم برای انجام

پژوهش حاضر صمیمانه قدردانی می‌شود.

سپاسگزاری

از گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه یاسوج و مدیریت

حفظ نباتات استان کهگیلویه و بویراحمد به دلیل در

## منابع

- Akbari, F., Askarian Zadeh, A. R., Attaran, M. R. & Zamani, A. A.** (2011) The effect of temperature on the parasitism of three species of *Trichogramma pintoii*, *T. brassicae*, *T. embryophagum* (Hym.: Trichogrammatidae) on *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) in laboratory conditions. *Journal of Plant Protection* 34 (1), 13-21. [In Persian with English Summary].
- Arbab Tafti, R., Sahragard, A., Salehi, L. & Asgari, Sh.** (2004) Study on functional response of *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hym.: Trichogrammatidae) to different densities of *Sitotroga cerealella* Olivier (Lep.: Gelechiidae) eggs. *Journal of Agricultural Science* 1 (1), 1-8. [In Persian with English Summary].
- Briere, J. F., Pracros, P., le Roux, A. Y. & Pierre. S.** (1999) A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environmental Entomology* 28, 22-29.
- Chi, H. & Yang, T. C.** (2003) Two-sex life table and predation rate of *Propylaea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 32, 327-333.
- Chi, H.** (2014a) CONSUME-MSChart: Computer program for consumption rate analysis based on the age stage, two-sex life table. (<http://140.120.197.173/Ecology/Download/CONSUMSChart.zip>) (Accessed 11 April 2014).
- Chi, H.** (2014b) TWSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. (<http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWSEX-MSChart.rar>) (Accessed 11 April 2014).
- Chi, H., Huang, Y. B., Allahyari, H., Yu, J. Z., Mou, D. F., Yang, T. C., Farhadi, R. & Gholizadeh. M.** (2011) Finite predation rate: A novel parameter for the quantitative measurement of predation potential of predator at population level. *Nature Precedings: hdl:10101/npre.2011.6651.1*
- Dutton, A., Cerutti, F. & Bigler, F.** (1996) Quality and environmental factors affecting *Trichogramma brassicae* efficiency under field conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 81, 71-79.
- Ebrahimi, M., Sahragard, A., Talaei-Hassanloui, R., Kavousi, A. & Chi, H.** (2013) The life table and parasitism rate of *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) reared on larvae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), with special reference to the variable sex ratio of the offspring and comparison of Jackknife and Bootstrap techniques. *Annals of the Entomological Society of America* 106 (3), 279-287.
- Farhadi, R., Allahyari, H. & Chi, H.** (2011) Life table and predation capacity of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control* 59, 83-89.
- Golizadeh, A., Kamali, K., Fathipour, Y. & Abbasipour, H.** (2008) Life table and temperature-dependent development of *Diadegma anurum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) on its host *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology* 37 (1), 38-44.
- Haghani, M., Fathipour, Y., Talebi, A. A. & Baniameri, V.** (2007) Temperature-dependent development of *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) on cucumber. *Journal of Pest Science* 80, 71-77.
- Iranipour, S., Farazmand, A., Saber, M. & Mashhadi Jafarloo, M.** (2009) Demography and life history of the egg parasitoid, *Trichogramma brassicae*, on two moths *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella* in the laboratory. *Journal of Insect Science* 9 (51), 1-8.
- Jafari, M., Saber, M., Bagheri, M. & Gharekhani, Gh.** (2014) Effects of Emamectin Benzoate and Methoxyfenozide on functional response of *Trichogramma brassicae* (Hym: Trichogrammatidae). *Journal of Applied Research in Plant Protection* 2, 59-70. [In Persian with English Summary].

- Khanamani, M., Fathipour, Y. & Hajiqanbar, H.** (2015) Assessing compatibility of the predatory mite, *Typhlodromus bagdasarjani* (Acari: Phytoseiidae) and resistant eggplant cultivar in a tritrophic system. *Annals of the Entomological Society of America* 108, 501-512.
- Kouhjani Gorji, M., Kamali, K., Fathipour, Y. & Ranjbadr Aghdam, H.** (2008) Temperature-dependent development of *Phytoseius plumifer* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology* 13, 172-181.
- Lactin, D. J., Holliday, N. J., Johnson, D. L. & Craigen, R.** (1995) Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environmental Entomology* 24, 68-75.
- Lashgari, A. A., Talebi, A. A., Fathipour, Y. & Farahani, S.** (2010) Study on demographic parameters of *Trichogramma brassicae* (Bezdenko) (Hym., Trichogrammatidae) on three host species in laboratory conditions. *Journal of Entomological Research* 2 (1), 49-60. [In Persian with English Summary].
- Li, Y. L.** (1994) Worldwide use of *Trichogramma* for biological control on different crops: A survey. pp. 37-51 in Wajenberg, E. & Hassan, S. A. (Eds.) *Biological control with egg parasitoid*. CAB International.
- Lundgren, J. G. & Heimpel, G. E.** (2002) Augmentation of *Trichogramma brassicae* for control of Cruciferous lepidoptera. 1<sup>st</sup> International symposium on biological control of arthropods. Honolulu, Hawaii, USA, January 14-18, 2002.
- Nikooei, M., Fathipour, Y., Jalali Javaran, M. & Soufbaf, M.** (2015) Influence of genetically manipulated *Brassica* genotypes on parasitism capacity of *Diadegma semiclausum* parasitizing *Plutella xylostella*. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17, 1743-1753.
- Ranjbar Aghdam, H. & Mahmoudian, R.** (2014) Effect of different rice varieties on age specific life table and population growth parameters of *Trichogramma brassicae*, the egg parasitoid of the Striped Stem Borer, *Chilo suppressalis*. *Iranian Journal of Plant Protection Science* 45 (1), 1-11. [In Persian with English Summary].
- Roy, M. L., Brodeur, J. & Cloutier, C.** (2002) Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). *Environmental Entomology* 31, 177-187.
- Schmidt, M. J.** (1994) Host recognition and acceptance by *Trichogramma*. pp. 165-200 in Wajenberg, E. & Hassan, S. A. (Eds.) *Biological control with egg parasitoid*. CAB International.
- Sedaratian, A., Fathipour, Y. & Talaei-Hassanloui, R.** (2014) Deleterious effects of *Bacillus thuringiensis* on biological parameters of *Habrobracon hebetor* parasitizing *Helicoverpa armigera*. *BioControl* 59, 89-98.
- Sharpe, P. J. H., Curry, G. L., DeMichele, D. W. & Cole, C. L.** (1977) Distribution model of organism development times. *Journal of Theoretical Biology* 66, 21-38.
- Smith, S. M.** (1996). Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential of their use. *Annual Review of Entomology* 41, 375-406.
- Sorokina, A. P.** (1999) Trophic links of species of the genus *Trichogramma* West. (Hym. Trichogrammatidae) of the world fauna. *Entomological Review* 79, 125-132.
- Taghizadeh, R., Fathipour, Y. & Kamali, K.** (2008) Temperature-dependent development of Acarophagous ladybird, *Stethorus gilvifrons* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 11, 145-148.
- Yazdani Khorasgani, A., Hosseini Bai, Sh., Hadad Irani Nezhad, K. & Mashhadi Jafarloo, M.** (2006) An investigation on some biological traits of *Trichogramma brassicae* Bezd. on the eggs of angoumois grain moth *Sitotroga cerealella* Oliv. *Journal of Agricultural Science* 12 (2), 271-283. [In Persian with English Summary].

- Zamani, A. A., Talebi, A. A., Fathipour, Y. & Baniameri, V.** (2006) Temperature-dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae), on the cotton aphid. *Journal of Pest Science* 79, 183-188.
- Zamani, A. A., Talebi, A. A., Fathipour, Y. & Baniameri, V.** (2007) Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 36 (2), 263-271.