تحقیقات آفات گیاهی
۱۳-۱ :(۲) ۱۰- ۱۳۹۹

نیازهای گرمایی زنبور پارازیتوئید *Diaeretiella rapae* (Hym.: Braconidae) پرورش‌یافته روی شته *Schizaphis graminum* (Hem.: Aphididae) در شرایط آزمایشگاهی

مهدیه کاظمی، علی اصغر طالبی*، زهرا تازرونی، یعقوب فتحی‌پور، مهران رضایی و محمد مهرآبادی
گروه حشره شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۲۸)

چکیده

گندم، *Triticum aestivum* L. یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در سراسر جهان است که فقط برای تغذیه کشت می‌شود. شته سبز گندم، *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hem.: Aphididae) یک آفت مهم گندم در ایران است که خسارت زیادی به محصول وارد می‌کند. در این پژوهش، نیازهای گرمایی زنبور *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) روی شته سبز گندم، در پنج دمای ثابت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۷/۵ درجه سلسیوس)، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۸:۱۶ ساعت (روشنایی: تاریکی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دما اثر معنی‌دار بر طول دوره رشد قبل از بلوغ داشت، به‌طوری‌که میانگین بیشترین و کمترین طول کل دوره رشدی قبل از بلوغ زنبور *D. rapae* به ترتیب در دمای ۱۰ (۴۹/۰۹±۲۵/۰ روز) و ۲۵ درجه سلسیوس (۲۴/۰۵±۹/۰ روز) مشاهده شد. اثر دما بر نرخ رشد زنبور *D. rapae* با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی برازش داده شد. دمای آستانه پایین و ثابت گرمایی زنبور *D. rapae* با استفاده از مدل رگرسیون خطی به ترتیب ۳/۲۱ درجه سلسیوس و ۲۲۹/۳۶ روز-درجه به دست آمد. مدل Briere-1 برازش به‌نسبت بالایی در برآورد داده‌ها نشان داد. همچنین، دمای آستانه پایین، دمای بهینه و دمای آستانه بالا به‌وسیله این مدل به خوبی تخمین زده شد. بنابراین، مدل Briere-1 به عنوان یک مدل مناسب برای توصیف دوره رشد و نمو قبل از بلوغ زنبور پارازیتویید *D. rapae* روی شته *S. graminum* تعیین شد. در این تحقیق، مدل خطی و مهم‌ترین مدل‌های غیر خطی گرمایی و معیارهای انتخاب مدل مناسب مورد ارزیابی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آستانه پایین نمو، ثابت گرمایی، زنبور پارازیتوئید، روز-درجه، کنترل بیولوژیک

* نویسنده مسئول: talebia@modares.ac.ir

مقدمه

شته سبز گندم، *Schizaphis graminum* (Rondani) یکی از آفات مهم گندم در ایران و جهان می‌باشد که با حمله به برگ‌ها و خوشه‌های غلات باعث کاهش محصول می‌شود (Lage *et al*., 2003; Tofangsazi *et al*., 2011; Goldasteh *et al*., 2012). خسارت شته سبز گندم در ایران تا ۲۰ درصد برآورد شده است (Rezvani, 2002)، ولی در تراکم‌های بالا انهدام کامل بوته‌ها نیز گزارش شده است (Modares Najafabadi and Gholamian, 2007). این شته علاوه بر خسارت مستقیم از طریق مکیدن شیره گیاهی، به‌صورت غیرمستقیم به گیاه خسارت زده و با تزریق مواد سمی طی فرآیند تغذیه باعث کلروزه و نکروزه شدن سلول‌ها می‌شود و در انتقال تعدادی از ویروس‌های گیاهی نیز نقش دارد (van Emden and Harrington, 2007; Tofangsazi *et al*., 2011).

کنترل بیولوژیک از رویکردهای مهم برای کنترل آفات در دهه‌های اخیر می‌باشد که در چارچوب مدیریت تلفیقی آفات اجرا می‌شود. دشمنان طبیعی متعلق به راسته بال‌غشائیان، نقش مهمی در پایداری تعادل طبیعی داشته و برخی از آنها نیز به طور موفقیت‌آمیزی در برنامه‌های کنترل بیولوژیک علیه آفات زراعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Vincent *et al*., 2007; Helyer *et al*., 2014; Ghorbanian *et al*., 2019). زنبورهای پارازیتوئید بویژه زنبورهای زیرخانواده Aphidiinae از خانواده Braconidae از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده شته‌های محصولات زراعی و زینتی به شمار می‌آیند (Hagvar and Hofsvang, 1991; Rezaei *et al*., 2019) و تعدادی از گونه‌ها از جمله *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) به عنوان یکی از گونه‌های مهم در اکثر اکوسیستم‌های کشاورزی فعالیت دارند. این زنبور یکی از پارازیتوئیدهای با دامنه میزبانی وسیع است و مهم‌ترین میزبان‌های آن روی غلات، شته روسی گندم و شته سبز گندم است (Shahrokhi Khanghah, 2003; Tazerouni *et al*., 2011; Karami *et al*., 2018) و در بیشتر مناطق جهان از جمله آسیای مرکزی، اروپا، منطقه مدیترانه، آمریکای شمالی و جنوبی انتشار دارد (Bernal *et al*., 2001).

شرایط محیطی به ویژه دما بر فرایندهای زنده مانی، نمو، رفتار و تولیدمثل در جانداران خونسرد از جمله حشرات اثر مستقیم دارد (Price, 1997; Tazerouni *et al*., 2012b). مطالعه محدوده‌های دمایی فعالیت حشرات، بهترین راه برای شناخت اثر شرایط آب و هوایی بر سازگاری و پویایی جمعیت آنها می‌باشد (Terblanche *et al*., 2007). بسیاری از ویژگی‌های رفتاری، جستجوی میزبان، نرخ حمله به میزان و درصد پارازیتیسم میزبان توسط زنبورهای پارازیتوئید، وابسته به شرایط دمایی است (Romo and Tylianakis, 2013; Sun *et al*., 2014; Jerbi-Elayed *et al*., 2015). تعیین آستانه‌های دمایی برای فعالیت حشرات مفید، یکی از موارد مهم برای پرورش آنها می‌باشد (Rodrigues *et al*., 2013). همچنین، استفاده از مدل‌های دمایی یکی از اجزای مهم سیستم‌های نوین و پیشرفته مدیریت تلفیقی آفات محسوب می‌شود که توانمندی و کارایی برنامه مدیریتی را افزایش می‌دهد. این مدل‌ها برای پیش‌بینی زمان ظهور جمعیت آفات و دشمنان طبیعی در مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Tobin *et al*., 2001; Allahyari, 2005; Haghani *et al*., 2007; Tofangsazi *et al*., 2010; 2012). به‌علاوه، می‌توان از این مدل‌ها برای تعیین زمان نمونه‌برداری، کاربرد آفت‌کش‌ها و به حداقل رساندن ناسازگاری بین عملیات زراعی استفاده کرد (Ranjbar Aghdam *et al*., 2009; Zahiri *et al*., 2010). برای تفسیر رابطه بین نرخ رشد حشرات و دما، مدل‌های خطی و غیر خطی متعددی توسط پژوهشگران ارائه شده است (Huffaker and Gutierrez, 1998). مدل رگرسیون خطی یکی معمول‌ترین مدل‌های مورد استفاده در تخمین آستانه پایین نمو و ثابت دمایی است که کاربرد وسیعی در محاسبه نیازهای گرمایی حشرات دارد (Campbell *et al*., 1974). مدل‌های غیرخطی متعددی برای تعیین رابطه بین نرخ رشد و دما توسط محققین مختلف ارائه شده است که قادرند دمای بهینه، کمینه و بیشینه مورد

نیاز برای رشد و نمو را برآورد نمایند (Logan *et al*., 1976; Harcourt and Yee, 1982; Lactin *et al*., 1995; Briere *et al*., 1999).

پژوهش‌های زیادی در زمینه بررسی نیازهای گرمایی زنبورهای پارازیتوئید در ایران و جهان انجام شده است. نیازهای گرمایی زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Bernal and Gonzalez, 1995; Elliott *et al*., 1995; Tazerouni *et al*., 2012 a)، زنبور پارازیتوئید *Aphidius ervi* Haliday روی شته *Sitobion avenae* Fabicius (Sigsgaard, 2000)، زنبورهای پارازیتوئید *Aphidius rhopalosiphi* (DeStefani-Perez) و *Praon volucre* (Haliday) روی شته *Metopolophium dirhodum* (Walker) (Aalichi *et al*., 2007)، زنبور پارازیتوئید *Praon* pos. *occidentale* Baker روی شته *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Arias *et al*., 2009) و زنبور پارازیتوئید *P. volucre* روی شته *S. avenae* (Farhad *et al*., 2012) مورد بررسی قرار گرفته است، اما تا کنون مطالعه‌ای در زمینه بررسی نیازهای گرمایی زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی *S. graminum* انجام نشده است. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق بررسی نیازهای گرمایی مراحل قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *D. rapae* و تعیین دمای بهینه برای فعالیت این زنبور روی شته معمولی گندم (*S. graminum*) با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پرورش زنبور پارازیتوئید *D. rapae*

شته‌های مومیایی جمع‌آوری شده از روی علف‌های هرز و مزارع گندم (رقم پیشتاز) دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس (تهران) در لوله‌های آزمایش (قطر ۲/۵ سانتی متر × طول ۱۲/۵ سانتی متر) قرار داده شده و دهانه لوله‌ها با پنبه مسدود و تا خروج زنبورها نگهداری شدند. پس از خروج حشرات کامل زنبور از داخل شته‌های مومیایی شده گونه *D. rapae* طبق کلید رخشانی و همکاران (Rakhshani *et al*., 2008) شناسایی و برای انجام آزمایش‌های بعدی و تشکیل کلنی مورد استفاده قرار گرفت. برای پرورش پارازیتوئیدها، زنبورهای نر و ماده به گلدان‌های حاوی بوته‌های گندم (رقم پیشتاز) که پیش از این با شته سبز گندم آلوده شده بودند، منتقل شده تا برای انجام آزمایش‌ها از آنها استفاده شود. به منظور جلوگیری از فرار زنبورها، استوانه‌هایی از طلق شفاف (قطر ۸/۵ سانتی متر × طول ۳۸ سانتی متر) در اطراف بوته‌های گندم قرار داده شد و قسمت بالایی آنها توسط پارچه توری با مش بالا مسدود شد. برای تهویه بهتر، روی بدنه طلق‌ها نیز سوراخ-هایی تعبیه شد و روی آنها نیز با توری مش بالا پوشانده شد. به منظور تغذیه حشرات کامل زنبورها از نوارهای کاغذی آغشته به آب عسل ۲۵٪ استفاده شد. شرایط پرورش زنبور *D. rapae* در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی بود.

انجام آزمایش‌ها

طول دوره رشد قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید در ۵ دمای ثابت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۷/۵ (±۱) درجه سلسیوس در ژرمیناتور بیندر با رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی مورد بررسی قرار گرفت. در هر دما تعداد ۱۰۰ عدد پوره سن دوم شته *S. graminum* (سن مرجح که با مشاهده پوست‌اندازی پوره-های سن یک تعیین شدند) (Tofangsazi *et al*., 2011; Vakhide and Safavi, 2014)، به مدت ۱۲ ساعت در معرض تعدادی زنبور نر و ماده *D. rapae* با طول عمر کمتر از ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس، زنبورها را خارج نموده و شته‌هایی که در معرض زنبور قرار گرفته بودند، به همراه گیاه مربوطه به صورت مجزا در شرایط آزمایش نگهداری شده و هر ۲۴ ساعت مورد بازدید قرار گرفتند. پس از تشکیل مومیایی، زمان تشکیل آنها ثبت و هر یک از آنها در ظروف جداگانه تا زمان خروج حشرات بالغ نگهداری شدند. بدین ترتیب طول دوره رشد و نمو قبل از بلوغ در هر دما ثبت شد.

محاسبه آستانه‌های دمایی *D. rapae*

دمای آستانه پایین و ثابت حرارتی با استفاده از معادله رگرسیون خطی $Y = a + bx$ به دست آمد. در این معادله، x دما، Y نرخ رشد و نمو (معکوس دوره رشد و نمو)، a عرض از مبدأ و b شیب خط است. خط رگرسیون به طرف محور xها در نقطه‌ای که محور xها را قطع می‌کند، T_0 یا دمای آستانه پایین را نشان می‌دهد که در آن رشدی وجود ندارد و نرخ رشد برابر صفر است. ثابت حرارتی یا روز-درجه‌های مورد نیاز، به عنوان مجموع گرمایی است که حشره نیاز دارد تا از یک مرحله وارد مرحله دیگر تبدیل شود. آستانه پایین رشد و نمو (T_0) و ثابت حرارتی (K) از طریق فرمول‌های زیر به دست می‌آیند:

$$T_0 = -a/b \qquad (۱)$$

$$K = 1/b \qquad (۲)$$

از آنجا که رابطه بین دما با نرخ رشد و نمو زنبور *D. rapae* تا دمای ۲۵ درجه سلسیوس یک رابطه خطی بود، بنابراین به‌منظور نشان دادن رابطه غیرخطی دما با نرخ نمو در ۵ دمای ثابت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۷/۵ درجه سلسیوس از چندین مدل غیرخطی (جدول ۱) استفاده شد. تجزیه مدل-های غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد (SAS Institute, 2007). ارزیابی هر یک از مدل‌ها بر اساس معیارهایی استوار می‌باشد که عبارتند از:

۱- ضریب تبیین R^2، R^2_{adj} و مجموع مربعات خطا SSE برای ارزیابی دقت هر مدل به کار گرفته می‌شود (Draper and Smith, 1998). هرچه مقدار R^2، R^2_{adj} بالاتر و SSE کمتر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل می-باشد.

۲- یکی از بهترین معیارها، معیار AIC می‌باشد. زیرا یک شاخص مستقل از تعداد پارامتر است و هر چه مقدار آن کوچکتر باشد، نشانگر دقت بالای مدل می‌باشد. مقدار AIC از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود (Vucetich *et al.*, 2002):

$$AIC = n\ln(SSE/n) + 2P \qquad (۳)$$

n بیانگر تعداد مشاهدات، p تعداد پارامترهای مدل و SSE مجموع مجذورات خطا می‌باشد.

جدول ۱- مدل‌های غیر خطی برازش داده شده با نرخ نمو زنبور پارازیتوئید *Diaeretiella rapae* به عنوان تابعی از دما (°C)

Table 1. Nonlinear models fitted to development rate of *Diaeretiella rapae* as function of temperature (°C)

Model	Equation	Reference
Lactin-1	$r(T) = e^{\rho T} - e^{\left(\rho T_{\max} - \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}\right)}$	Lactin *et al*. (1995)
Lactin-2	$r(T) = e^{\rho T} - e^{\left(\rho T_{\max} - \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}\right)} + \lambda$	Lactin *et al*. (1995)
Logan-6	$r(T) = \psi\left[e^{\rho T} - e^{(\rho T_{\max} - \tau)}\right]$, $\tau = \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}$	Logan *et al*. (1976)
Logan-10	$r(T) = a\left[\frac{1}{1 + Ke^{-\rho T}} - e^{-\tau}\right]$, $\tau = \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}$	Logan *et al*. (1976)
Polynomial (Cubic)	$r(T) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$	Tanigoshi and Browne, (1978), Harcourt and Yee, (1982)
Briere-1	$r(T) = aT(T - T_{\min})(T_{\max} - T)^{\frac{1}{2}}$	Briere *et al*. (1999)

نتایج و بحث

رشد و نمو شته در دماهای مختلف

میانگین طول دوره رشد و نمو قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته *S. graminum* روی گندم در ۵ دمای ثابت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۷/۵ درجه سلسیوس) در شرایط آزمایشگاهی در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت معنی‌داری بین طول دوره نمو قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *D. rapae* در دماهای مختلف مشاهده شد (F=6589.29; df= 4, 277; *P*<0.001). بیشترین و کمترین طول دوره رشد قبل از بلوغ به ترتیب ۴۹/۰۹±۲۵/۰ و ۰/۰۵±۲۴/ ۹ روز و در دماهای ۱۰ و ۲۵ درجه سلسیوس به دست آمد. مطالعه طول دوره رشد پیش از بلوغ زنبور *D. rapae* روی شته *D. noxia* روی گندم در دماهای مختلف نشان داد این زنبور در دماهای ۱۰ و ۲۵ درجه سلسیوس، دوره رشد قبل از بلوغ خود را به ترتیب در مدت ۳۳/۳ و ۱۱/۲۳ روز کامل می‌کند (Tazerouni *et al*., 2012a). همچنین، بررسی انجام شده توسط بایهان و همکاران (Bayhan *et al*., 2007) نشان داد طول دوره قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته *Brevicoryne brassicae* و روی ارقام مختلف کلم در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، بین ۱۱/۶ تا ۱۲/۱ روز می باشد. در تحقیق فرهاد و همکاران (Farhad *et al*., 2012) طول دوره قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *P. volucre* روی شته *S. avenae* روی گندم در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلیسوس به ترتیب ۴۲/۳، ۳۳/۳۶، ۱۸/۲۰ و ۱۳/۶۴ روز گزارش شده است. نتایج به دست آمده در تحقیقات مختلف نشان داده است که شته میزبان و میزبان گیاهی شته تاثیر زیادی بر ویژگی‌های زیستی زنبورهای پارازیتوئید *D. rapae* دارند (Karami *et al*., 2018; Ghorbanian *et al*., 2019). همچنین، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که طول دوره رشد و نمو قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *D. rapae* با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس کاهش و با افزایش دما از ۲۵ به ۲۷/۵ درجه سلسیوس افزایش می یابد. بررسی اثرات دما بر طول دوره قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته *D. noxia* روی گندم (Tazerouni *et al*., 2012a) و زنبورهای پارازیتوئید *A. colemani* و *A. matricariae* روی شته‌های *A. gossypii* و(Sulzer) *Myzus persicae* (Zamani *et al*., 2007) نیز نشان داد روند تغییرات در طول دوره قبل از بلوغ زنبورهای پارازیتوئید وابسته به دما است، به طوری‌که با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس طول دوره قبل از بلوغ کاهش و با افزایش دما از ۲۵ درجه سلسیوس به بالا، طول این دوره در زنبورهای پارازیتوئید نام برده افزایش یافت. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق فوق انطباق دارد. بر اساس پژوهش‌های تفنگسازی و همکاران (Tofangsazi *et al*., 2010) طول دوره رشد قبل از بلوغ شته *S. graminum* روی جو (رقم کارون) در دمای ۲۲ و ۲۶ درجه سلسیوس به ترتیب ۸/۲۳ و ۶/۶۵ روز تعیین شده است، در حالی‌که طول دوره رشد قبل از بلوغ زنبور *D. rapae* در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) در تحقیق حاضر ۹/۲۴ روز تعیین شد. اگرچه میزبان گیاهی و ارقام مختلف هر محصول نیز می‌تواند بر سرعت رشد و نمو شته *S. graminum* مؤثر باشد (Tofangsazi *et al*., 2011).

جدول ۲- دوره رشد قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *Diaeretiella rapae* روی شته *Schizaphis graminum* روی گندم در دماهای مختلف

Table 2. Development time of immature stages of *Diaeretiella rapae* reared on *Schizaphis graminum* on wheat at different temperatures

Parameter	Temperature				
	10˚C	**15˚C**	**20˚C**	**25˚C**	**27.5˚C**
Male+Female	25.49 ± 0.09[a]	22.09 ± 0.10[b]	17.64 ± 0.05[c]	9.24 ±0.05[e]	11.95 ± 0.21[d]

Means followed by the same letters in the row are not statistically different by Duncan Test ($P < 0.05$) after one-way ANOVA.

رابطه نرخ رشد و نمو با دما

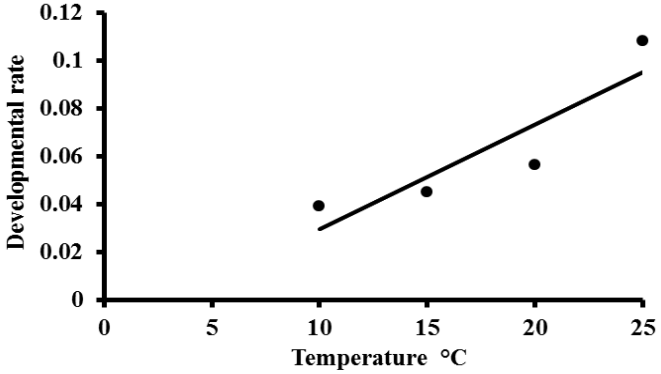
مدل خطی

بر اساس رابطه رگرسیون خطی بین دما و نرخ نمو زنبور *D. rapae* در ۴ دمای ثابت ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس دمای آستانه پایین و ثابت حرارتی کل دوره رشد قبل از بلوغ زنبور *D. rapae* به ترتیب ۳/۲۱ درجه سلسیوس و ۲۲۹/۳۶ روز-درجه تعیین شد (جدول ۳). رابطه رگرسیون خطی بین دما و نرخ نمو زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته *S. graminum* روی گندم در شکل ۱ نشان داده شده است. دمای آستانه پایین با استفاده از رگرسیون خطی در جمعیت زنبور *D. rapae* جمع‌آوری شده از آمریکا (ایالت اکلاهاما) و سوریه روی شته روسی گندم به ترتیب ۵/۳ و ۳/۳ درجه سلسیوس و ثابت حرارتی به ترتیب ۲۹۷ و ۲۷۸ روز-درجه ذکر شده است (Elliot *et al.*, 1995). در پژوهش‌های برنال و گونزالز (Bernal and Gonzalez, 1995) و تازرونی و همکاران (Tazerouni *et al.*, 2012a) دمای آستانه پایین زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته روسی گندم به ترتیب ۳/۵۶ و ۲/۹۷ درجه سلسیوس و ثابت حرارتی به ترتیب ۲۹۲/۲۹ و ۲۵۰ روز-درجه گزارش شده است. عالیچی و همکاران (Aalichi *et al.*, 2007) آستانه رشد و میزان ثابت گرمایی زنبورهای پارازیتوئید *A. rhopalosiphi* و *P. volucre* را روی شته *M. dirhodum* به ترتیب ۶/۰۳ درجه سلسیوس و۲۳۷/۰۳ روز-درجه و ۵/۴۳ درجه سلسیوس و۲۴۵/۱۶ روز-درجه برآورد کردند. آستانه دمایی زنبور پارازیتوئید *A. colemani* روی شته‌های *A. gossypii* و *M. persicae* به ترتیب ۲/۹۷ و ۲/۶۵ درجه سلسیوس و برای زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* روی شته‌های مذکور به ترتیب ۳/۳۷ و ۳/۵۱ درجه سلسیوس بود (Zamani *et al.*, 2007). وجود اختلاف در نتایج تحقیق حاضر با نتایج حاصل از تحقیقات نام‌برده را می‌توان به گونه شته میزبان و زنبور پارازیتوئید، منشاء جغرافیایی زنبور پارازیتوئید و شرایط آزمایش نسبت داد (Sigsgaard, 2000). بر اساس پژوهش‌های تفنگ‌سازی و همکاران (Tofangsazi *et al.*, 2010) دمای آستانه پایین شته *S. graminum* روی جو (رقم کارون) ۵/۷۳ درجه سلسیوس و ثابت حرارتی کل دوره رشد قبل از بلوغ ۱۳۳/۳۳ روز-درجه تعیین شده است که نشان می دهد دمای آستانه پایین شته بالاتر از دمای آستانه پایین زنبور *D. rapae* در تحقیق حاضر (۳/۲۱ درجه سلیسوس) است. از این موضوع می‌توان نتیجه‌گیری نمود که زنبور پارازیتوئید قادر است فعالیت خود را در بهار همزمان با فعالیت شته میزبان شروع کند، ولی ثابت حرارتی یا مجموع گرمایی است که زنبور پارازیتوئید نیاز دارد تا رشد و نمو قبل از بلوغ خود را طی نماید (۲۹۲/۲۹ روز-درجه) بیشتر از شته میزبان (۱۳۳/۳۳ روز-درجه) است. این موضوع بیانگر آن است که شته *S. graminum* در مدت زمان معین قادر است تعداد نسل‌های بیشتری در مقایسه با زنبور *D. rapae* تولید نموده و جمعیت خود را افزایش دهد.

جدول ۳- دمای آستانه پایین نمو (T_0) و ثابت حرارتی (K) طول دوره قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *Diaeretiella rapae* روی شته *Schizaphis graminum* روی گندم با مدل رگرسیون خطی

Table 3. Lower temperature threshold (T_0) and thermal constant (K) of immature stage of *Diaeretiella rapae* on *Schizaphis graminum* on wheat estimated by linear regression

	Equation	T_0	K	R^2_{adj}
Linear regression	Y = - 0.0140 + 0.00436 X	3.21	229.36	0.71



شکل ۱- منحنی رگرسیون خطی رشد و نمو زنبور پارازیتوئید *Diaeretiella rapae* روی شته *Schizaphis graminum* روی گندم در شرایط آزمایشگاهی

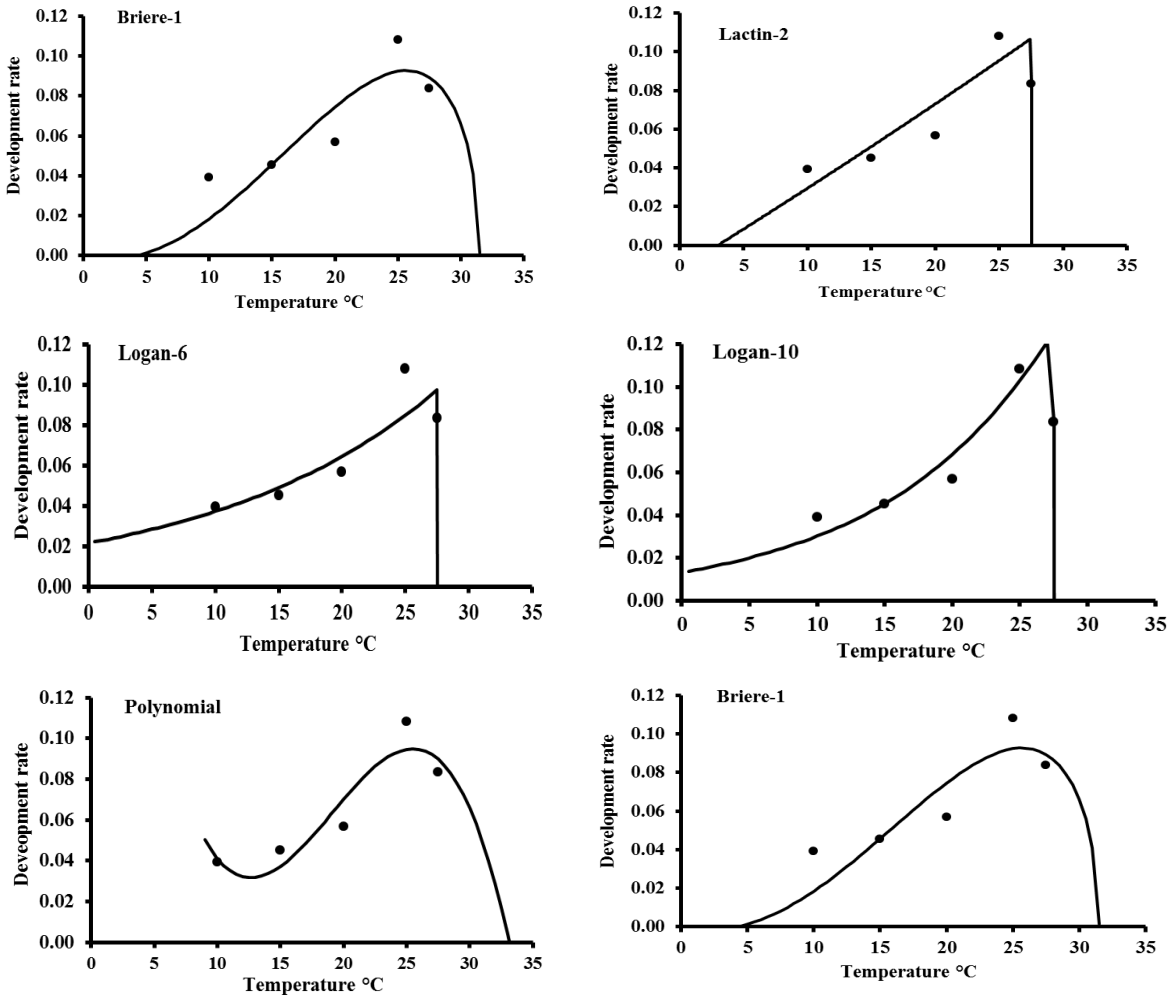
Figure 1. Linear regression development of *Diaeretiella rapae* on *Schizaphis graminum* on wheat at laboratory conditions

مدل‌های خطی فقط قادرند نرخ رشد را در محدوده خطی منحنی رشد برآورد نمایند و در تعیین دمای آستانه پایین و ثابت حرارتی از کارایی خوبی برخوردارند، در حالی‌که مدل‌های غیر خطی قادرند علاوه بر آن، دمای بهینه و دمای آستانه بالای رشد و نمو را به خوبی برآورد نمایند (Mirhosseini *et al*., 2017).

مدل‌های غیر خطی

رابطه غیرخطی بین دما و نرخ نمو زنبور *D. rapae* روی شته *S. graminum* با استفاده از مدل‌های غیرخطی Lactin-1، Lactin-2، Logan-6، Logan-10، Polynomial و Briere-1 در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد مدل Logan 10 به دلیل داشتن بالاترین میزان R^2، R^2_{adj} و کمتر بودن مقدار *AIC* در برازش داده‌ها دقت بالایی داشت، اما دمای بهینه تخمین زده شده توسط این مدل بالاتر از دمای بهینه مشاهده شده و نزدیک به T_{max} بود (جدول ۴)، بنابراین این مدل در برآورد دمای بهینه برای دوره رشد و نمو قبل از بلوغ زنبور *D. rapae* مدل مناسبی نخواهد بود. دمای بهینه در مدل‌های غیرخطی Lactin-1، Polynomial و Berier-1 به ترتیب ۲۵/۷ و ۲۵/۵ درجه سسلیوس برآورد شد (جدول ۴). مدل‌های ذکر شده در تخمین دمای بهینه مدل‌های مناسبی می‌باشند. مدل Polynomial علاوه بر داشتن دقت به نسبت بالا در برازش داده‌ها، میزان دمای آستانه بالا را ۳۳ و نزدیک به مقدار پیش‌بینی شده برای این پارامتر (طبق داده‌های تجربی) برآورد کرد. از آنجا که این مدل دمای آستانه پایین را پیش‌بینی نمی‌کند، نمی‌توان آن را به عنوان یک مدل جامع پیشنهاد کرد. دمای آستانه پایین، دمای بهینه و دمای آستانه بالا بوسیله مدل Berier-1 به‌خوبی تخمین زده شد همچنین، برازش به‌نسبت بالایی در برآورد داده‌ها نشان داد؛ بنابراین، می‌توان این مدل را به عنوان یک مدل مناسب برای بیان دوره رشد و نمو قبل از بلوغ زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته *S. graminum* معرفی کرد.

بر اساس پژوهش‌های مجیب حق‌قدم و همکاران (Mojib-Haghghadam *et al*., 2019) در مورد کفشدوزک *Adalia decempunctata* (Linnaeus) با تغذیه از شته *Aphis gossypii* (Glover) مدل‌های Analytis، Briere-1، Briere-2 و Lactin-2 در برازش نرخ رشد و دما بر اساس شاخص R^2_{adj} از دقت مناسبی برخوردار بودند، ولی مدل Briere-1 دمای آستانه بالای رشد را بیشتر از مقدار مشاهده شده برآورد نمود. فرهاد و همکاران (Farhad *et al*., 2012) نرخ رشد زنبور *P. volucre* را با استفاده از هشت مدل غیرخطی مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج نشان داد بر اساس شاخص‌های *SSE* و R^2_{adj} کم و *AIC* مدل‌های مدل‌های Logan-6 و Logan-10 به عنوان مدل‌های مناسب انتخاب شدند. در این تحقیق دمای بهینه و دمای آستانه بالای رشد توسط مدل Logan-6



شکل ۲- منحنی مدل‌های غیر خطی بکار رفته برای شبیه سازی نرخ رشد و نمو زنبور *Diaeretiella rapae* روی شته *Schizaphis graminum* روی گندم در شرایط آزمایشگاهی

Figure 2. Curves of nonlinear model for simulating the development rate of *Diaeretiella rapae* on *Schizaphis graminum* on wheat at laboratory conditions

به ترتیب ۲۷/۶ و ۳۳/۷۵ درجه سلسیوس و توسط مدل Logan-10 به ترتیب ۲۷/۸ و ۳۲/۴ درجه سلسیوس برآورد شد که اندکی بالاتر از مقادیر برآورد شده در تحقیق حاضر (به ترتیب ۲۵/۵ و ۳۱/۵ درجه سلسیوس) است. بر اساس پژوهش‌های تازرونی و همکاران (Tazerouni *et al.*, 2012a) در مورد ارتباط دما و نرخ نمو در زنبور پارازیتوئید *D. rapae*، مدل Briere-2 دقت بالایی در برازش داده‌ها نشان داد و مقادیر برآورد شده از دمای بهینه و T_{max} به ترتیب ۲۵/۹۷ و ۳۳/۸۹ درجه سلسیوس تعیین شد که نشان می‌دهد دمای بهینه به نتایج تحقیق حاضر بسیار نزدیک است. در مجموع، از مدل‌های غیر خطی زیادی در تعیین نرخ نمو حشرات استفاده شده است که نتایج نشان داده مدل‌های مختلف دقت‌های متفاوتی در تخمین نرخ نموی حشرات نشان دادند و پژوهشگران برای انتخاب بهترین مدل باید وقت زیادی را صرف کنند و در نهایت، بر اساس شاخص‌های *SSE* و R^2_{adj} و *AIC* بهترین مدل را انتخاب نمایند (Mirhosseini *et al.*, 2017). بر اساس مدل‌های خطی و غیرخطی دمایی به کار رفته در تحقیق حاضر می‌توان زمان ظهور و دماهای مناسب برای فعالیت زنبور پارازیتوئید *D. rapae* روی شته *S. graminum* در مزرعه گندم را پیش‌بینی نمود. پژوهش‌های صورت گرفته در مورد شته *S. graminum* نشان می‌دهد این شته در مناطق معتدل

و گرم از پتانسیل بالایی برای افزایش جمعیت در بهار و زمستان برخوردار است و می تواند به محصول خسارت وارد کند (Tofangsazi *et al.*, 2010, 2011, 2012). اما در شرایط مزرعه، فاکتورهای دیگری مانند رطوبت نسبی، دوره نوری و منابع غذایی نیز می‌تواند فعالیت شته و زنبور پارازیتوئید را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعه حاضر با بررسی اثر دما، به عنوان یک فاکتور مؤثر بر ویژگی‌های زیستی و رفتاری زنبور پارازیتوئید به عنوان اولین قدم در ارزیابی زنبور پارازیتوئید *D. rapae* به عنوان عامل کنترل بیولوژیک شته *S. graminum* محسوب می‌شود. اگرچه برای تصمیم‌گیری جامع، بررسی‌های تکمیلی بیشتری نیاز است.

جدول ۴- پارامترهای حاصل از تجزیه مدل‌های غیر خطی نرخ رشد زنبور پارازیتوئید *Diaeretiella rapae* روی شته *Schizaphis graminum* روی گندم در شرایط آزمایشگاهی

Table 4. Estimated parameters of development rate using nonlinear models for describing development of *Diaeretiella rapae* on *Schizaphis graminum* on wheat at laboratory conditions

Model	**Estimated parameter**		**Goodness of fit and model parameters**	
	Parameter	**Value**	**Parameter**	**Value**
Lactin-1	T_{max}	31.94	*SSE*	615×10^{-4}
	T_{opt}	25.7	R^2	0.815
	Δ	6.261	R^2_{adj}	0.753
	ρ	0.1595	*AIC*	-41.015
Lactin-2	T_{max}	27.58	*SSE*	556×10^{-4}
	T_{min}	2.97	R^2	0.833
	T_{opt}	27.4	R^2_{adj}	0.777
	Δ	0.0202	*AIC*	-41.520
	ρ	0.0041		
	λ	-1.012		
Logan-6	T_{opt}	27.5	*SSE*	810×10^{-4}
	T_{max}	27.99	R^2	0.675
	Ψ	0.0216	R^2_{adj}	0.905
	ρ	0.0548	*AIC*	-39.642
	Δ_T	0.0053		
Logan-10	T_{opt}	27	*SSE*	239×10^{-4}
	T_{max}	28.27	R^2	0.928
	a	69.335	R^2_{adj}	0.904
	k	5200.66	*AIC*	-45.736
	ρ	0.0818		
	Δ_T	0.1043		
Polynomial	T_{max}	33	*SSE*	859×10^{-4}
	T_{opt}	25.5	R^2	0.741
	a	-0.000060	R^2_{adj}	0.655
	b	0.003450	*AIC*	-39.348
	c	-0.0584		
	d	0.3405		
Briere-1	T_{max}	31.50	*SSE*	867×10^{-4}
	T_{min}	4.33	R^2	0.739
	T_{opt}	25.5	R^2_{adj}	0.652
	a	0.00070	*AIC*	-39.300

سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت مالی و تأمین امکانات و تجهیزات مورد نیاز توسط گروه حشره‌شناسی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس جهت انجام این تحقیق قدردانی می‌نمایند.

نگارندگان همچنین از دو داور محترم و سردبیر مجله که با ارائه نظرات و توصیه‌های ارزشمند باعث ارتقای مقاله شدند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

Allahyari, H. 2005. Decision making with degree-day in control program of Colorado potato beetle. PhD Thesis. University of Tehran.

Aalichi, M., Shishehbor, P., Mosadegh, S. M. S. and Soleimannejadian, E. 2007. The effects of different temperatures on biology and life tables of *Aphidius rhopalosiphi* and *Praon volucre*, parasitizing *Metopolophium dirhodum* under laboratory conditions. **Scientific Journal of Agriculture** 29(4): 99-109.

Arias, D., Cantor, C., Cure, J. R. and Rodriguez, Y. D. 2009. Biology and life cycle of *Praon* pos. *occidentale* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). **Agronomia Colombiana** 27: 375-383.

Bayhan, O. S., Ulusoy, M. R. and Bayhan. E. 2007. Is the parasitization rate of *Diaeretiella rapae* influenced when *Brevicoryne brassicae* feeds on brassica plants? **Entomology Phytoparasitica** 35(2): 146-149.

Bernal, J. S. and Gonzalez, D. 1995. Thermal requirements of *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) on Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia* Mordvilko, Hom., Aphididae) hosts. **Journal of Applied Entomology** 119: 273-277.

Bernal, J. S., Gonzalez, D and David-DiMarino, E. 2001. Over wintering potential in California of two Russian wheat aphid parasitoids (Hymenoptera: Aphelinidae er Aphidiidae) imported from Central Asia. **Pan-Pacific Entomologist** 77: 28-36.

Briere, J. F., Pracros, P., Le Roux, A. Y. and Pierre, J. S. 1999. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. **Environmental Entomology** 28: 22-29.

Campbell, A., Frazer, B. D., Gilbert, N., Gutierrez, A. P. and Mackauer, M. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. **Journal of Applied Ecology** 11: 431-438.

Draper, N.R. and Smith, H. 1998. Applied regression analyses. Wiley, New York.

Elliot, N. C., Burd, J. D., Kindler, S. D. and Lee, J. H. 1995. Temperature effects on development of three cereal aphid parasitoids. **The Great Lakes Entomologist** 28: 199-204.

Farhad, A., Talebi, A. A. and Fathipour, Y. 2012. Thermal Requirements of *Sitoibion avenae* (Hem.: Aphididae) and its parasitoid, *Proan volucre* (Hym.: Braconidae). **Iranian Journal of Plant Protection Science** 43 (1): 143-154.

Ghorbanian, M., Fathipour, Y., Talebi, A. A. and Reddy, G. V. 2019. Different pepper cultivars affect performance of second (*Myzus persicae*) and third (*Diaeretiella rapae*) trophic levels. **Journal of Asia-Pacific Entomology** 22(1): 194-202.

Goldasteh, S., Talebi, A.A., Rakhshani, E. and Goldasteh, S. 2012. Effect of four wheat cultivars on life table parameters of *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae). **Journal of Crop Protection** 1(2): 121-129.

Haghani, M., Fathipour, Y., Talebi, A. A. and Baniameri, V. 2007. Temperature-dependent development of *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) on cucumber. **Journal of Pest Science** 80(2): 71-77.

Hagvar, E.B. and Hofsvang., T. 1991. Aphid parasitoids (Hymenoptera, Aphidiidae): biology, host selection and use in biological control. **Biocontrol News and Information** 12: 13- 41.

Harcourt, D. C. and Yee, J. M. 1982. Polynomial algorithm for predicting the duration of insect life stages. **Environmental Entomology** 11: 581-584.

Helyer, N., Cattlin, N. D. and Brown, K. C. 2014. Biological control in plant protection, a color handbook (Second Edition). CRC Press, Tylor & Francis Group, New York, USA.

Jerbi-Elayed, M., Lebdi-Grissa, K., Goff, G. L. and Hance, T. 2015. Influence of temperature on flight, walking and oviposition capacities of two aphid parasitoid species (Hymenoptera: Aphidiinae). **Journal of Insect Behavior** 28: 157–166.

Karami, A., Fathipour, Y., Talebi, A. A. and Reddy, G. V. 2018. Parasitism capacity and searching efficiency of *Diaeretiella rapae* parasitizing *Brevicoryne brassicae* on susceptible and resistant canola cultivars. **Journal of Asia-Pacific Entomology** 21(4): 1095-1101.

Huffaker C. B. and Gutierrez, A. P. 1998. Ecological entomology, John Wiley, Canada, 756 pp.

Lactin, D. J., Holliday, N. J., Johnson, D. L. and Crigen, R. 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. **Environmental Entomology** 24: 68-75.

Lage J., Skovmand B. and Andersen S. B. 2003. Characterization of greenbug (Homoptera: Aphididae) resistance in synthetic hexapolid wheats. **Journal of Economic Entomology** 96 (6): 1922–1928.

Logan, J. A., Wollkind, D. J., Hoyt, S. C. and Tanigoshi, L. K. 1976. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. **Environmental Entomology** 5: 1133-1140.

Mirhosseini, M. A., Fathipour, Y. and Reddy, G. V. P. 2017. Arthropod development's response to temperature: a review and new software for modeling. **Annals of the Entomological Society of America**, 110(6): 507–520.

Modares Najafabadi, S. and Gholamian, Gh. 2007. Seasonal population changes of wheat green aphid (*schizaphis graminum*) and introduction of its natural enemies in Sistan region. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 10(4): 367-380.

Mojib-Haghghadam, Z., Jalali Sendi, J., Zibaee, A., Mohaghegh, J. and Karimi-Malati, A. 2019. Modeling temperature-dependent development and demography of *Adalia decempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) reared on *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera: Aphididae). **Journal of Plant Protection Research** 59 (2): 229-243.

Price, P. W. 1997. Insect ecology. John Wiley and Sons.

Rakhshani, E., Tomanovic, Z., Stary, P., Talebi, A. A., Kavalieratos, N. G., Zamani, A. A. and Stemankovic, S. 2008. Distribution and diversity of wheat aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in Iran. **European Journal of Entomology** 105: 863-870.

Ranjbar Aghdam, H., Fathipour, Y., Radjabi, Gh. and Rezapanah, M. R. 2009. Temperature-dependent development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. **Environmental Entomology** 38(3): 885-895.

Rezaei, M., Talebi, A. A., Fathipour, Y., Karimzadeh, J. and Mehrabadi, M. 2019. Foraging behavior of *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae) on tobacco aphid, *Myzus persicae nicotianae* (Hemiptera: Aphididae). **Bulletin of Entomological Research** 109(6): 840-848.

Rezvani, A. 2002. Key to the identification of aphids in Iran. Agricultural Research, Education and Extension Publication. (in Farsi)

Rodrigues, M. A. T., Pereira, F. F. and Kassab, S. O. 2013. Thermal requirements and generation estimates of *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) in sugarcane producing regions of Brazil. **Florida Entomologist** 96: 154-159.

Romo, C. M. and Tylianakis, M. 2013. Elevated temperature and drought interact to reduce parasitoid effectiveness in suppressing hosts. **PLoS One** 8: e58136.

SAS Institute 2007. JMP: a Guide to statistical and data analysis, version 7.0.1. Cary, N.C. Computer program, version by SAS Institute.

Shahrokhi Khanghah, Sh. 2003. Investigation on wheat aphids and the factors affecting their population dynamics in Varamin, Iran. PhD. Thesis. Islamic Azad University Science and Research Branch.

Sigsgaard, L. 2000. The temperature-dependent development and parasitism of 3 cereal aphid parasitoid, *Aphidius ervi*, *A. rhopalosiphi* and *Praon volucre*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 25: 173-184.

Sun, Z. J., Chen, D., Fan, X. J., Liu, L., Cheng, Y. J., Zhang, C. H., Ren, G. W. and Liu, X. D. 2014. Antennal ultrastructure of *Aphidius gifuensis* and the effect of cold storage on antennae. **Scientia Agricultura Sinica** 47: 4637–4647. (In Chinese with English summary)

Tanigoshi, L. K. and Browne, R. W. 1978. Influence of temperature on life table parameters of *Metaseiulus occidentalis* and *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Phytoseidae, Tetranychidae). **Annals of the Entomological Society of America** 71: 313-316.

Tazerouni, Z., Talebi, A. A. and Rakhshani, A. 2012 a. Effect of temperature on biological characteristics and population growth parameters of *Diaeretiella rapae*, parasitoid of Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia*. **Iranian Journal of Plant Protection Science** 43(1): 83-95.

Tazerouni, Z., Talebi, A. A. and Rakhshani, E. 2011. The foraging behavior of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Diuraphis noxia* (Hemiptera: Aphididae). **Archives of Biological Sciences** 63(1): 225-234.

Tazerouni, Z., Talebi, A. A. and Rakhshani, E. 2012 b. Temperature-dependent functional response of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Diuraphis noxia* (Hemiptera: Aphididae). **Journal of the Entomological Research Society** 14(1): 31-40.

Terblanche, J. S., Deere, J. A., Clusella-Trullas, S., Janion, C. and Chown, S. L. 2007. Critical thermal limits depend on methodological context. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences** 274: 2935–2943.

Tobin, P. C., Nagarkatti, S. and Saunders, M. C. 2001. Modeling development in grape berry moth (Lepidoptera: Tortricidae). **Environmental Entomology** 30: 692- 699.

Tofangsazi, N., Kheradmand, K., Shahrokhi, S. and Talebi, A. 2012. Effect of different constant temperatures on biology of *Schizaphis graminum* (rondani) (Hemiptera: aphididae) on barley, *Hordeum vulgare* L. (poaceae) in Iran. **Journal of Plant Protection Research** 52(3): 319-323.

Tofangsazi, N., Kheradmand, K., Shahrokhi, S. and Talebi, A. A. 2010. Temperature-dependent life history of *Schizaphis graminum* on barley. **Bulletin of Insectology** 63(1): 79-84.

Tofangsazi, N., Kheradmand, K., Shahrokhi, S. and Talebi, A. A. 2011. Demography of greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) on six barley cultivars. **Archives of Phytopathology and Plant Protection** 44(5): 484-492.

Vakhide, N. and Safavi, S. A. 2014. Biology and fertility life table of the greenbug, *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) on the resistant winter wheat cultivar (Pishgam) in Iran. **Archives of Phytopathology and Plant Protection** 47 (3): 355–365.

van Emden, H. F. and Harrington, R. 2007. Aphids as Crop Pests. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Vincent, C., Goettel, M.S. and Lazarovits, G. 2007. Biological control, A global perspective. CAB International, AMA DataSet Ltd, UK. Cromwell Press, Trowbridge, UK.

Vucetich, J. A., Peterson, R. O. and Schaefer, C. L. 2002. The effect of prey and predator densities on wolf predation. **Ecology** 83: 3003-3013.

Zahiri, B., Fathipour, Y., Khanjani, M., Moharramipour, S. and Zalucki, M. P. 2010. Preimaginal development response to constant temperatures in *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae): picking the best model. **Environmental Entomology** 39 (1): 177-189.

Zamani, A. A., Talebi, A. A. and Fathipour, Y. 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.

Plant Pest Research
2020-10 (2): 1-13

Thermal requirements of parasitoid wasp, *Diaretiella rapae* (Hym.: Braconidae) reared on *Schizaphis graminum* (Hem.: Aphididae) under laboratory conditions

M. Kazemi, A. A. Talebi*, Z. Tazerouni, Y. Fathipour, M. Rezaei and M. Mehrabadi

Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: April 7, 2020- Accepted: July 18, 2020)

Abstract

Wheat, *Triticum aestivum* L. is of one the most important cultivated crop plants that are grown extensively for food in the world. The green wheat aphid, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hem.: Aphididae) is an important pest of wheat in Iran causes severe damage to the crop. In this research, thermal requirements of parasitoid wasp, *Diaretiella rapae* (M'Intosh) (Hym.: Braconidae) on the green wheat aphid, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hem.: Aphididae) were assessed at five constant temperatures (10, 15, 20, 25 and 27.5ºC), 60±5% RH and a photoperiod of 16L: 8D hours. The results showed that temperature had significant effect on developmental time. The mean of longest and shortest preimaginal period were observed at 10ºC (25.49±0.09 day) and 25ºC (9.24±0.05 day), respectively. Effect of temperature on developmental time of *D. rapae* was fitted using linear and non-linear models. The lower temperature threshold and thermal constant of *D. rapae* were 3.21ºC and 229.36 DD, respectively using linear regression model. The non-linear model Berier 1 had relative high goodness- of- fit. T_0, T_{opt} and T_{max} were fitted well using this model. Therefore, Berier 1 model was determined for the description of temperature-dependent development of *D. rapae on S. graminum.* In this research, the linear and most common nonlinear thermal models and the criteria for selecting appropriate models are evaluated.

Key words*:* lower temperature threshold, thermal constant, parasitoid wasp, degree-day, biological control

* Corresponding author: talebia@modares.ac.ir