



Scientific article

Temperature-dependent development of *Scizaphis graminum* Rondani and its stage emergence models

MASOOD AMIR-MAAFI¹ , SHAHRAM SHAHROKHI²

1, 2. Sunn Pest Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

(Received: May 2025; Accepted: Nov., 2025)

The greenbug, *Scizaphis graminum* Rondani (Hemiptera: Aphididae), is a globally distributed polyphagous pest. This study investigated the impact of temperature on the development of *S. graminum*, reared on wheat (Pishgam variety) under laboratory conditions across a temperature range of 10 to 32.5°C. *S. graminum* successfully completed nymphal development at all tested temperatures. Development rate increased from 10.0 to 30°C, then decreased at higher temperatures. Linear models estimated lower developmental threshold temperatures (T_{min}) for nymphal instars (NI-NIV) and the total developmental period as 3.1, 7.24, 6.64, 8.29, and 6.78°C, respectively. Corresponding thermal constants were 55.19, 23.62, 26.85, 25.52, and 116.58 degree days (DD). Stage emergence models, incorporating nonlinear development rate (Lactin 2) and a logistic distribution, were constructed to simulate individual progression through each developmental stage. These models can be used to develop population models of *S. graminum* aphids, help understand population dynamics and develop integrated management strategies for this pest in wheat and barley crops.

Keywords: Linear and nonlinear function development, *Scizaphis graminum*, stage emergence models, temperature

DOI: <http://doi.org/10.22092/jaep.2025.369624.1544>

✉ mamirmaafi@gmail.com

© 2025, The Author(s). Published by Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



مقاله پژوهشی

اثر دما بر رشد شته معمولی گندم، *Shizaphis graminum* Rondani و

مدل‌های ظهور مراحل مختلف رشدی آن

مسعود امیرمعافی^۱✉، شهرام شاه‌رخی خانقاه^۲ ID

۱- دانشیار، بخش تحقیقات سن گندم، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

تهران، ایران

(تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۴)

چکیده

شته معمولی گندم، *Scizaphis graminum* Rondani (Hemiptera: Aphididae)، یکی از آفات مهم گندم است که دارای پراکنش وسیعی در جهان است. در این مطالعه تأثیر دما بر نرخ رشد شته معمولی گندم روی گندم (وارتیه پیشگام) در شرایط آزمایشگاهی در محدوده دمایی ۱۰ تا ۳۲/۵ درجه سلسیوس بررسی شد. نتایج نشان داد که نرخ رشد از ۱۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس افزایش و در دمای بالاتر از آن کاهش یافت. پوره‌های شته توانستند در تمام دماهای مورد بررسی، چرخه زندگی خود را تکمیل کنند. با استفاده از رگرسیون خطی، آستانه پایین دمای رشد (T_{min}) برای سنین مختلف پورگی و کل دوره پورگی به ترتیب ۳/۱، ۷/۲۴، ۶/۶۴، ۸/۲۹ و ۶/۷۸ درجه سلسیوس تخمین زده شد. همچنین، ثابت‌های دما (نیاز دمایی) مربوطه به ترتیب ۵۵/۱۹، ۲۳/۶۲، ۲۶/۸۵، ۲۵/۵۲ و ۱۱۶/۵۸ روز-درجه بود. در این پژوهش، مدل‌های ظهور مرحله رشدی، با ترکیب نرخ رشد غیرخطی (لاکتین ۲) و توزیع لجستیک، برای شبیه‌سازی پیش‌بینی ظهور هر مرحله رشدی تهیه شدند که از این مدل‌ها می‌توان برای توسعه مدل‌های جمعیتی شته *S. graminum* استفاده کرد و همچنین آن‌ها می‌توانند به‌درک پویایی جمعیت و ایجاد استراتژی‌های مدیریت تلفیقی برای آفت در محصولات گندم و جو کمک نمایند.

واژه‌های کلیدی: دما، شته معمولی گندم، *Scizaphis graminum*، مدل خطی و غیرخطی، مدل‌های ظهور مرحله رشدی

مقدمه

شته معمولی گندم *Shizaphis graminum* Rondani یکی از شته‌های زیان آور غلات در دنیا می‌باشد و تاکنون از روی بیش از ۷۰ گونه از گیاهان خانواده Poaceae گزارش شده است. این شته از مهمترین آفات مزارع گندم، جو برنج، یولاف و چاودار است (Blackman and Eastop 2000). بنا بر نظر (2000) Blackman and Eastop منشأ این آفت منطقه پالئارکتیک بوده و سپس به سایر نقاط جهان گسترش یافته‌است. شته معمولی گندم در بیشتر نقاط ایران انتشار دارد (Rezvani, 2001). خسارت این آفت چه به‌طور مستقیم با تغذیه از شیره نباتی و چه به‌طور غیر مستقیم با ترشح عسلک (سبب کاهش فتوسنتز) و انتقال بیماری‌های ویروسی، سبب خسارت به غلات می‌شود (Chatters & Schlehuber, 1951; Rogers et al., 1972; Zhang et al., 2020).

استراتژی‌های مدیریت مؤثر شته معمولی گندم برای به‌حداقل رساندن خسارت آن به محصول ضروری بوده (Palousek et al., 2009; Pendleton et al., 2009) و در این مفهوم، درک و تجزیه و تحلیل فرآیندهای زیستی این آفت برای مطالعه رشد جمعیت آن و تدوین برنامه‌های مدیریتی برای آن، بسیار مهم است.

دما یکی از عوامل مؤثر بر فرایند زیستی شته‌ها است، اما تأثیر دما بر جمعیت‌های جغرافیایی شته‌ها می‌تواند متفاوت باشد (Asin and Pons, 2001; Auad et al., 2009; Descamps and Chopa, 2011; Park et al., 2016). اگرچه نتایج برخی از تحقیقات، رابطه بین دما و نرخ رشد شته معمولی گندم را توصیف نموده است (Tofangsazi et al., 2010, 2012; Shehata, et al., 2018)، اما این مطالعات داده‌های کافی را برای ایجاد یک مدل رشد وابسته به دما یا مدل ظهور قابل اعتماد برای مراحل مختلف رشدی مورد نیاز برای تدوین استراتژی‌های مؤثر مدیریت آفات را ارائه نکرده‌اند. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف تعیین اثرات دما بر فرایند زیستی و رشد شته معمولی گندم و تهیه مدل ظهور مراحل مختلف رشدی آن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

پرورش شته در آزمایشگاه

شته معمولی گندم از مزارع گندم منطقه ورامین جمع‌آوری و پس از شناسایی، با استفاده از قلم موی ظریف روی بوته گندم در گلدان‌هایی که در آن گندم رقم پیشگام کاشته شده بود، منتقل شد. گلدان‌ها به اتاق رشد با دمای ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل و یک روز در میان آبیاری شدند.

بررسی تأثیر دما روی رشد و نمو شته معمولی گندم

این بررسی در هفت دمای ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۲/۵ درجه سلسیوس انجام شد. برای مطالعه طول دوره رشدی شته معمولی گندم در هر دما، تعداد ۱۰۰ عدد پوره تازه متولد شده (۴-۰ ساعته) از کلنی انتخاب و با استفاده از قلم موی ظریف به‌طور انفرادی روی قطعات برگ گندم (رقم پیشگام) مستقر شده روی محلول آب - آگار ۱۰ درصد در داخل ظروف پتری انتقال داده شدند. پتری‌ها به اتاقک‌های رشد با هفت دمای یاد شده، رطوبت نسبی 10 ± 60 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. پتری‌ها روزانه بازدید شده و مرحله رشدی و یا مرگ هر فرد به تفکیک ثبت گردید. بازدیدهای روزانه تا رسیدن به مرحله بالغ ادامه داشت. برای بررسی تأثیر دما بر طول دوره رشدی هر کدام از مراحل مختلف رشدی شته معمولی گندم، تجزیه واریانس با استفاده از رویه GLM با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 (SAS Institute 2019) صورت گرفت و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها، مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام شد.

مدل‌سازی رشد و تخمین پارامترها

روش خطی

برای تعیین آستانه‌های دمای پایین و نیازهای دمایی مراحل مختلف رشدی شته، ابتدا نرخ‌های رشد از طریق معکوس کردن طول دوره رشدی پوره‌های سنین ۱ تا ۴ و کل دوره پورگی

در این معادله $p(P_{xi})$ نسبت تجمعی ظهور مرحله رشدی در سن فیزیولوژیک (P_{xi}) توسط هر فرد در α و β پارامترهای مدل هستند. پارامترها با استفاده رویه NLIN (SAS 9.4, SAS Institute 2019) تخمین زده شدند.

نتایج

تأثیر دما بر طول دوره رشدی شته معمولی گندم

شته معمولی گندم توانست چرخه زندگی خود را در کلیه دماهای مورد مطالعه از مرحله پوره سن ۱ تا بالغ تکمیل نماید. دما تأثیر معنی‌داری بر طول دوره رشدی سنین مختلف و مجموع طول دوره پورگی شته داشت. در این پژوهش، طول دوره رشدی سنین مختلف پورگی شته معمولی گندم با افزایش دما از ۱۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس، کاهش و سپس در دمای ۳۲/۵ درجه سلسیوس افزایش یافت (جدول ۱).

مدل خطی (تعیین آستانه دمای پایین و نیاز دمایی)

رابطه بین نرخ رشد و دما با استفاده از رگرسیون خطی (Campbell et al., 1974) در دامنه خطی دما برای هر یک از مراحل رشدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. آستانه دمای پایین برای پوره‌های سنین ۱ تا ۴ و کل دوره پورگی شته به ترتیب ۳/۱، ۷/۲۴، ۶/۶۴، ۸/۲۹ و ۶/۷۸ درجه سلسیوس بود و نیاز دمایی برای تکمیل دوره رشدی برای پوره‌های سنین ۱ تا ۴ و کل دوره پورگی به ترتیب ۵۵/۱۹، ۲۳/۶۲، ۲۶/۸۵، ۲۵/۵۲ و ۱۱۶/۵۸ روز - درجه تعیین گردید (جدول ۲ و شکل ۱).

مدل غیر خطی

رابطه بین نرخ رشد هر کدام از مراحل رشدی شته معمولی گندم و دما با مدل غیر خطی لاکتین ۲ (Lactin et al., 1995) برازش داده شد. داده‌ها به خوبی با مدل برازش یافته (شکل ۱) و مقادیر پارامترهای تخمین زده شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

مدل توزیع طول دوره رشدی

محاسبه گردید و سپس، رابطه بین نرخ رشد و دما با استفاده از رگرسیون خطی (Campbell et al., 1974) در دامنه دمایی خطی رشد برای سنین پورگی و کل طول دوره پورگی با استفاده از رویه REG (SAS 9.4, SAS Institute 2019) تعیین شد. آستانه دمای پایین و نیاز دمایی به ترتیب با استفاده از رابطه، $T_{min} = \frac{1}{b} - \frac{a}{b}$ و $K(DD) = \frac{1}{b}$ محاسبه شد. در این روابط a عرض از مبدا و b شیب خط رگرسیون است (Campbell et al., 1974).

روش غیر خطی

نرخ رشد پوره‌های سنین ۱ تا ۴ و کل دوره پورگی شته معمولی گندم با استفاده از مدل غیرخطی برازش داده شد. مدل لاکتین ۲ (Lactin et al., 1995) برای تحلیل رگرسیون غیرخطی استفاده شد، زیرا این مدل در میان سایر مدل‌های غیرخطی، به خوبی با کلیه مراحل رشدی مورد مطالعه برازش یافته بود (Shahrokhi, 2025).

$$r(T) = e^{\rho \cdot T} - e^{\left[\rho \cdot T_{max} - \frac{(T_{max} - T)}{\Delta T}\right]} + \lambda \quad (۱)$$

در این معادله، $r(T)$ نرخ رشد در دمای T ، ρ ، ΔT و T_{max} پارامترهای مدل هستند (Lactin et al., 1995). این پارامترها با استفاده رویه NLIN (SAS 9.4, SAS Institute 2019) تخمین زده شدند.

مدل توزیع طول دوره رشدی

فراوانی تجمعی طول دوره رشدی پوره‌های سنین ۱ تا ۴ و کل دوره پورگی شته معمولی گندم در سنین متوالی تهیه و فراوانی هر مرحله رشدی در هر سن، تقسیم بر فراوانی کل همان مرحله رشدی شد. سن فیزیولوژیک (P_{xi}) در روز λ ام با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Curry and Feldman, 1987).

$$P_{xi} = \int_{t_0}^{t_n} r[T(t)]dt \approx \sum_{i=1}^n r(T_i)\Delta t \quad (۲)$$

در این معادله دما (T)، تابعی از زمان (t) و نرخ رشد ($r(T_i)$) در دمای معین از λ امین روز در هر مرحله رشدی می‌باشد.

تغییرات طول دوره رشدی پوره‌های سنین ۱ تا ۴ و کل دوره پورگی با تابع لجستیک برازش داده شد که این تابع عبارت است از:

$$p(P_{xi}) = \frac{1}{1 + \exp[-\alpha(P_{xi} - \beta)]} \quad (۳)$$

نمودارهای توزیع تجمعی طول دوره رشدی در برابر سن فیزیولوژیکی مراحل مختلف رشدی شته معمولی گندم در شکل ۲ آورده شده است. همه مراحل شکل مشابهی را نشان دادند و توزیع‌ها به خوبی توسط تابع لجستیک توصیف شدند ($r^2 > 0.94$). مقادیر پارامتر تخمین زده شده تابع توزیع در

جدول ۴ نشان داده شده است. مقدار پارامتر α در مراحل پورگی سنین ۱ و ۲ کمتر از پوره‌های سنین سوم و چهارم بود که نشان می‌دهد که دامنه طول دوره رشدی برای پوره‌های سنین اول و دوم وسیع‌تر است (جدول ۴ و شکل ۲). در این مطالعه، مدل‌های توزیع طول دوره رشدی برای همه سنین پورگی شته ارایه شده است که می‌تواند برای ساخت یک مدل جمعیتی برای شته معمولی گندم استفاده شود.

مدل‌های ظهور مرحله رشدی

تعداد پوره‌های شته معمولی گندم که روزانه در سنین مختلف از یک مرحله رشدی وارد مرحله دیگر می‌شوند، در دماهای مختلف برای کلیه سنین پورگی و کل طول دوره پورگی به تفکیک در شکل ۳ ارایه شده است. منحنی‌های تراکم، شکلی شبیه خط الراس یک رشته کوه را نشان می‌دهند که با افزایش دما، میانگین زمان ظهور کوتاه‌تر می‌شود.

بحث

اطلاعات اندکی در مورد تأثیر دما بر طول دوره رشدی شته معمولی گندم وجود دارد. این مطالعه رابطه بین دما و طول دوره رشدی هر یک از سنین پورگی شته را به تفکیک با استفاده از مدل‌های کمی در محدوده وسیع‌تری از دما مورد بررسی قرار داده و لذا توصیف دقیق‌تری نسبت به محققان قبلی ارائه می‌دهد (Tofangsazi et al., 2010; Shehata et al., 2018). همان‌طور که انتظار می‌رفت، دما نقش مهمی در رشد هر یک از مراحل رشدی شته معمولی گندم ایفا کرد. با وجود تفاوت در روش پرورش و میزبان گیاهی، طول دوره رشدی پوره‌های سنین مختلف شته معمولی گندم در دماهای مورد مطالعه در این تحقیق در مقایسه با سایر بررسی‌ها (Tofangsazi et al., 2010; Shehata et al., 2018) در دماهای مشابه و یا نزدیک به دماهای مورد مطالعه در تحقیق حاضر، تقریباً یکسان بود.

(Tofangsazi et al., 2010) آستانه دمای پایین (T_{min}) پوره‌های سنین ۱ تا ۴ را به ترتیب ۴/۳۳، ۵/۵۹، ۶/۱۳ و ۷/۴۸ درجه سلسیوس در جو به عنوان گیاه میزبان بیان نموده‌اند. نتایج ایشان با مطالعه حاضر، اختلاف اندکی دارد، که این اختلاف می‌تواند ناشی از میزبان گیاهی متفاوت در دو مطالعه باشد. اما نتایج این بررسی با نتایج (Shehata et al., 2018)، با این که هر دو مطالعه روی ارقام مختلف گندم انجام شده است، تفاوت بیشتری دارد که این تفاوت می‌تواند ناشی از دامنه دمای مورد مطالعه باشد، زیرا مطالعه (Shehata et al., 2018) صرفاً در سه دما (۱۸، ۲۲ و ۲۶ درجه سلسیوس) انجام شده و آستانه دمای پایین برای هر یک از مراحل رشدی بدون وجود داده در دماهای پایین‌تر از ۱۸ درجه سلسیوس، تخمین زده شده است. در حالی که برآوردهای این مطالعه در دماهای پایین‌تر از ۱۸ درجه سلسیوس (۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ درجه سلسیوس) و در مطالعه (Tofangsazi et al., 2010) با در نظر گرفتن دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس، تعیین شده است. بنابراین آستانه پایین دماهای متفاوت، می‌تواند ناشی از دامنه‌های مختلف دماهای مورد بررسی باشد. این تفاوت‌ها، محدودیت کاربرد مدل خطی برای محاسبه آستانه دمای پایین را نشان می‌دهد (Kim et al., 2001). با این حال، مدل‌های فنولوژی تهیه شده با استفاده از آستانه‌های رشدی حاصل از تجزیه و تحلیل مدل خطی، اغلب به اندازه کافی برای کاربرد صحرایی، دقیق هستند (Van Kirk & AliNiazee, 1981).

از نظر کاربردی، آستانه دمای پایین به دست آمده در تحقیقات (Shehata et al., 2018) روز-درجه را در دماهای پایین اوایل فصل، کمتر از حد برآورد کرده و منجر به خطاهای قابل توجهی در پیش بینی حضور اولیه شته معمولی گندم می‌شود. بنابراین، نتایج تحقیق حاضر برای پیش‌بینی قابل اعتماد فنولوژی شته معمولی گندم ارجحیت دارد.

مقدار پارامتر α در مراحل پورگی سنین ۱ و ۲ کمتر از پوره‌های سنین سوم و چهارم بود که نشان می‌دهد که دامنه طول دوره رشدی برای پوره‌های سنین اول و دوم وسیع‌تر است (جدول ۴ و شکل ۲). در این مطالعه، مدل‌های توزیع طول دوره رشدی برای همه سنین پورگی شته ارایه شده است که می‌تواند برای ساخت یک مدل جمعیتی برای شته معمولی گندم استفاده شود.

مدل‌های ظهور مرحله رشدی

تعداد پوره‌های شته معمولی گندم که روزانه در سنین مختلف از یک مرحله رشدی وارد مرحله دیگر می‌شوند، در دماهای مختلف برای کلیه سنین پورگی و کل طول دوره پورگی به تفکیک در شکل ۳ ارایه شده است. منحنی‌های تراکم، شکلی شبیه خط الراس یک رشته کوه را نشان می‌دهند که با افزایش دما، میانگین زمان ظهور کوتاه‌تر می‌شود.

بحث

اطلاعات اندکی در مورد تأثیر دما بر طول دوره رشدی شته معمولی گندم وجود دارد. این مطالعه رابطه بین دما و طول دوره رشدی هر یک از سنین پورگی شته را به تفکیک با استفاده از مدل‌های کمی در محدوده وسیع‌تری از دما مورد بررسی قرار داده و لذا توصیف دقیق‌تری نسبت به محققان قبلی ارائه می‌دهد (Tofangsazi et al., 2010; Shehata et al., 2018). همان‌طور که انتظار می‌رفت، دما نقش مهمی در رشد هر یک از مراحل رشدی شته معمولی گندم ایفا کرد. با وجود تفاوت در روش پرورش و میزبان گیاهی، طول دوره رشدی پوره‌های سنین مختلف شته معمولی گندم در دماهای مورد مطالعه در این تحقیق در مقایسه با سایر بررسی‌ها (Tofangsazi et al., 2010; Shehata et al., 2018) در دماهای مشابه و یا نزدیک به دماهای مورد مطالعه در تحقیق حاضر، تقریباً یکسان بود.

نرخ رشد و تغییرات طول دوره رشدی حشرات، دو عامل مهم وابسته به دما برای پیش بینی پویایی جمعیت هستند (San Choi & Kim, 2014). Wagner *et al.* (1985). یک مدل ظهور مرحله رشدی برای حشرات ارائه کردند که در آن، تابع نرخ رشد، میانگین روزانه (یا میانه) نرخ رشد حشرات را در دمای معین محاسبه می‌کند که این نرخ‌ها تجمیع یافته و متغیر مستقل تابع توزیع را ارایه می‌نمایند و بنابر این، نسبت تجمعی رشد گروه را در طول زمان پیش‌بینی می‌کند. این رویکرد به‌جای نیاز دمایی (یعنی روز-درجه تجمعی) از روش جمع نرخ (rate-summation) استفاده می‌کند.

در روش نیاز دمایی، فرض بر این است که یک رابطه خطی بین نرخ رشد و دمای ثابت وجود دارد. بنابر این، روز - درجه مورد نیاز برای تکمیل دوره رشدی در تمام دماها، ثابت فرض می‌شود (How, 1967; Wagner *et al.*, 1985; Higley *et al.* 1986). با این حال، این روش کاربرد محدودی دارد، زیرا همان‌طور که در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد، رشد حشرات در دماهای پایین یا بالا غیرخطی است (Wagner *et al.*, 1984a) (شکل ۱). برخلاف نیاز دمایی (روز - درجه)، فرض خطی بودن برای رویکرد جمع - نرخ ورد نیاز نیست. بنابر این، این روش می‌تواند در دماهای خارج از ناحیه خطی منحنی نرخ رشد در برابر دما، به‌خوبی عمل کند. در مطالعه حاضر، اثر دما بر نرخ رشد کلیه سنین پورگی (به تفکیک) و کل دوره رشد پورگی، به‌خوبی با مدل غیرخطی لاکتین ۲ توصیف شد (Lactin *et al.*, 1995).

مدل‌های ارایه شده برای مراحل رشدی، ویژگی‌های کلی رشد حشرات را نشان می‌دهند (شکل ۱) که در تحقیق حاضر از آن‌ها برای محاسبه سن فیزیولوژیکی شته معمولی گندم استفاده شد (شکل ۲ و جدول ۴).

تابع توزیع طول دوره رشدی، جنبه‌های تصادفی رشد حشرات را با نرمال کردن تغییرات فردی طول دوره رشدی در

دماهای مختلف تجمیع می‌کند (Wagner *et al.*, 1984b). این تابع اطلاعاتی در مورد نسبت (یا تعداد) افرادی که طول دوره رشدی را در زمان‌های مختلف تکمیل کرده‌اند (به‌عنوان مثال، سن فیزیولوژیکی) ارائه می‌دهد. مقادیر پارامترهای مدل‌های توزیع طول دوره رشدی برای شته معمولی گندم براساس تابع لجستیک در جدول ۴ نشان داده شده است. این مدل‌ها می‌توانند زمان اولین ظهور، اوج ظهور و آخرین ظهور را برای جمعیت *S. graminum* با ادغام در مدل لاکتین ۲ پیش بینی کنند.

از مدل‌های ظهور مراحل مختلف رشدی شته معمولی گندم برای شبیه سازی الگوهای فنولوژی این شته استفاده شد (شکل ۳). برای پیش بینی تصادفی جمعیت شته معمولی گندم در شرایط متغیر دمایی (به‌عنوان مثال، در مزرعه)، نرخ رشد را می‌توان با استفاده از دمای روزانه تخمین زد و لذا می‌توان از آن به‌عنوان مقدار ورودی برای تابع توزیع استفاده کرد که می‌تواند نسبت‌های انتقال را در طول زمان تخمین بزند. در تحقیق حاضر تمام پارامترها برای مدل‌های نرخ رشد و مدل توزیع طول دوره رشدی مراحل نابالغ شته معمولی گندم ارائه شده است. از این مدل‌های انتقال مرحله رشدی، می‌توان برای ساخت یک مدل جمعیتی برای شته معمولی گندم استفاده کرد. همان‌طور که Kim *et al.*, (2001) برای شب‌پره *Carposina sasakii* Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) مهمترین آفت سیب در کشور کره، (Son and Lewis 2005) برای سرخرطومی *Otiorhynchus sulcatus* F. (Coleoptera: Curculionidae) آفت مهم گل صدتومانی در آمریکا، (Choi and Kim 2014) برای (Dennis & Schiffermuller,) (Lepidoptera: Geometridae) یکی از آفات مهم مرکبات در کره و Lee *et al.*, (2022) برای پروانه (Lepidoptera: Noctuidae) *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) آفت مهم کلم، انجام داده‌اند.

جدول ۱- طول دوره رشدی سنین مختلف پورگی و مجموع طول دوره پورگی شته معمولی گندم *Scizaphis graminum* در دماهای مختلف

Table 1. Developmental time of different nymphal and total stages of *Scizaphis graminum* at different constant temperatures

Temperature (°C)	Nymphal stage				Total nymphal stage
	NI	NII	NIII	NIV	
10	9.18 ± 0.26 ^a	7.28 ± 0.21 ^a	7.23 ± 0.21 ^a	8.48 ± 0.21 ^b	31.93 ± 0.51 ^a
12.5	4.38 ± 0.13 ^b	5.49 ± 0.14 ^b	4.70 ± 0.12 ^b	5.43 ± 0.12 ^c	19.98 ± 0.25 ^b
15	4.43 ± 0.09 ^b	3.77 ± 0.10 ^c	3.67 ± 0.08 ^c	4.09 ± 0.10 ^d	15.92 ± 0.19 ^c
20	3.03 ± 0.05 ^c	1.51 ± 0.06 ^d	2.17 ± 0.06 ^c	1.96 ± 0.05 ^c	8.68 ± 0.11 ^d
25	2.55 ± 0.06 ^{cd}	1.30 ± 0.05 ^d	1.18 ± 0.04 ^f	1.30 ± 0.05 ^c	6.35 ± 0.10 ^c
30	2.08 ± 0.04 ^d	1.09 ± 0.03 ^d	1.28 ± 0.05 ^f	1.60 ± 0.06 ^c	6.08 ± 0.07 ^c
32.5	4.36 ± 0.18 ^b	3.84 ± 0.19 ^c	3.14 ± 0.15 ^d	3.95 ± 0.75 ^a	15.68 ± 0.75 ^c
df	6, 565	6, 528	6, 515	6, 484	6, 484
F	205.59	249.57	286.78	280.57	556.11
P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Means followed by different letters within the same column are significantly different ($P < 0.05$, Tukey's test).

جدول ۲- آستانه دمای پایین (T_{min}) و ثابت دما (K) تخمین زده شده توسط رگرسیون خطی برای سنین مختلف پورگی و

مجموع طول دوره پورگی شته معمولی گندم *Scizaphis graminum*

Table 2. The lower temperature threshold (T_{min}) and thermal constant (K) estimated by linear regression for different nymphal and total stages of *Scizaphis graminum*

Stages	Regression parameters		T_{min} (°C)	K (DD)	r^2	P-value
	a (intercept) ± SE	b (slope) ± SE				
NI	-0.056 ± 0.025	0.018 ± 0.0006	3.1	55.194	0.99	0.0001
NII	-0.306 ± 0.088	0.042 ± 0.004	7.24	23.62	0.96	0.0006
NIII	-0.247 ± 0.112	0.037 ± 0.006	6.64	26.85	0.92	0.003
NIV	-0.368 ± 0.061	0.044 ± 0.004	8.29	25.52	0.98	0.001
Total nymphal stage	-0.058 ± 0.007	0.009 ± 0.0004	6.78	116.58	0.99	0.0002

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مدل غیرخطی رشد (لاکتین ۲) برای سنین مختلف پورگی و مجموع طول دوره پورگی شته معمولی گندم *Scizaphis graminum*

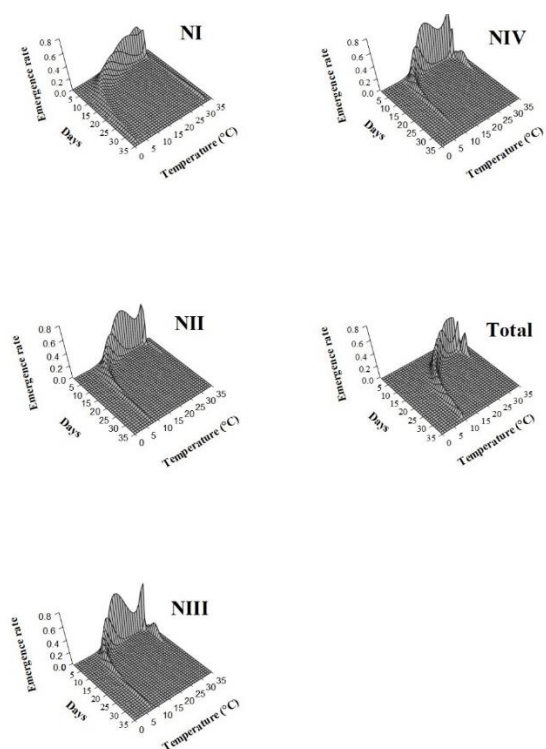
Table 3. Parameter values of the non-linear developmental rate model for each nymphal and total stages of *Scizaphis graminum*; Lactin 2 model (Lactin et al., 1995)

Stages	Estimated value of parameter (±SE)				r^2
	ρ	T_{max}	Δ	λ	
NI	0.014 ± 0.002	34.092 ± 1.232	1.009 ± 0.819	-0.998 ± 0.042	0.92
NII	0.029 ± 0.003	24.048 ± 0.55	1.689 ± 0.622	-1.222 ± 0.085	0.94
NIII	0.028 ± 0.003	34.771 ± 0.748	2.246 ± 0.783	-1.227 ± 0.081	0.95
NIV	0.029 ± 0.003	35.69 ± 0.769	3.381 ± 0.923	-1.266 ± 0.072	0.97
Total nymphal stage	0.007 ± 0.0004	36.205 ± 0.459	1.789 ± 0.238	-1.051 ± 0.001	0.99

جدول ۴- مقادیر پارامترهای مدل غیرخطی توزیع طول دوره رشدی برای سنین مختلف پورگی و مجموع طول دوره پورگی شته معمولی گندم *Scizaphis graminum*

Table 4. Parameter value of the non-linear developmental distribution model for each nymphal and total stages of *Scizaphis graminum*

Stages	Estimated value of parameter (±SE)		r^2
	a	B	
NI	4.085 ± 0.894	0.899 ± 0.04	0.94
NII	4.830 ± 0.804	0.887 ± 0.035	0.96
NIII	7.053 ± 1.116	0.749 ± 0.024	0.97
NIV	6.219 ± 1.192	0.753 ± 0.032	0.95
Total nymphal stage	13.345 ± 1.977	0.932 ± 0.012	0.94

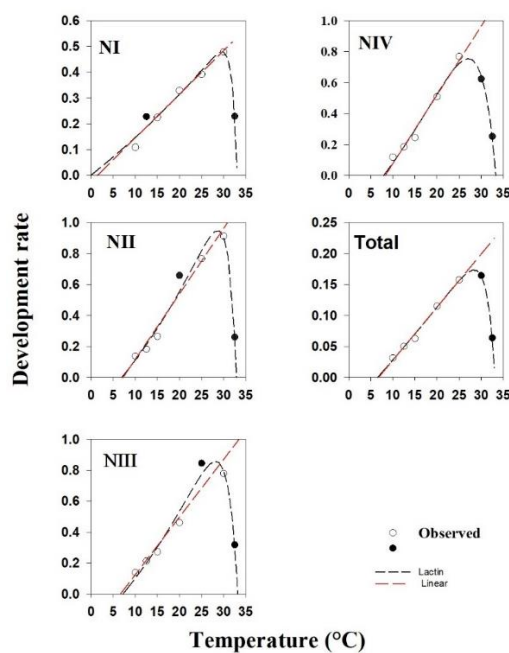


شکل ۳- منحنی‌های پیش‌بینی ظهور مرحله رشدی در رابطه با سن (روز) و دما (درجه سلسیوس) برای سنین مختلف پورگی و مجموع طول دوره پورگی شته معمولی گندم *Scizaphis graminum*

Fig. 3. Predicted stage emergence (transition) density curves in relation to cohort age (days) and temperature (°C) for each nymphal and total stages of *Scizaphis graminum*

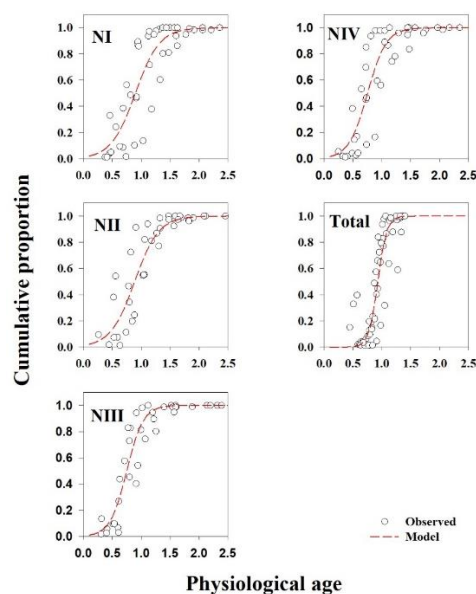
سپاسگزاری

بدین وسیله از کارشناسان بخش تحقیقات سن گندم برای کمک در انجام این تحقیق قدردانی می‌گردد. این تحقیق با کمک مالی موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور براساس پروژه شماره ۰۲-۱۶-۱۶-۰۳۶-۹۹۰۲۰۸ انجام شده است.



شکل ۱- منحنی نرخ رشد خطی و غیرخطی برای سنین مختلف پورگی و مجموع طول دوره پورگی شته معمولی گندم *Scizaphis graminum* به عنوان تابعی از دما. نقاط داده دایره پر در تحلیل رگرسیون خطی حذف شدند.

Fig. 1. Development rate (1/d) curves (linear and non-linear) for each nymphal and total stages of *Scizaphis graminum*, as a function of temperature. Open circle data points are excluded in the linear regression analysis.



شکل ۲- نسبت تجمعی طول دوره رشدی برای سنین مختلف پورگی و مجموع طول دوره پورگی شته معمولی گندم *Scizaphis graminum* به عنوان تابعی از سن فیزیولوژیک با استفاده از تابع لجستیک.

Fig. 2. Cumulative proportions of development completion for each nymphal and total stages of *Scizaphis graminum* as a function of physiological age. Logistic function was applied.

References

- AHN, J.J., CHO, J. R., Kim, J.H., and SEO, B. Y. (2020). Thermal effects on the population parameters and growth of *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Hemiptera: Aphididae). *Insects*, 11(8), 481. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11080481>
- ASIN, L., and PONS, X. (2001). Effect of high temperature on the growth and reproduction of corn aphids (Homoptera: Aphididae) and implications for their populations dynamics on the northeastern Iberian peninsula. *Environ. Entomol.* 30, 1127-1134. DOI: <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.6.1127>
- AUAD, A. M., ALVES, S. O., CARVALHO, C. A., SILVA, D. M., RESENDE, T. T., and Verissimo, B. A. (2009). The impact of temperature on biological aspects and life table of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) fed with signal grass. *Florida Entomologist*, 92(4), 569-577. DOI: <https://doi.org/10.1653/024.092.0406>
- BLACKMAN, R. L., and EASTOP, V. F. (2000). Aphids on the world's crops: an identification and information guide (No. Ed. 2). John Wiley & Sons Ltd.
- BORER, E. T., ADAMS, V. T., ENGLER, G. A., ADAMS, A. L., SCHUMANN, C. B., and Seabloom, E. W. (2009). Aphid fecundity and grassland invasion: invader life history is the key. *Ecological Applications*, 19(5), 1187-1196. DOI: <https://doi.org/10.1890/08-1205.1>
- 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(1), 22-29. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/28.1.22>
- CAMPBELL, A., FRAZER, B. D., GILBERT, N. G. A. P., GUTIERREZ, A. P., and MACKAUER, M. (1974). Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of applied ecology*, 431-438. DOI: <https://doi.org/10.2307/2402197>
- CHATTERS, R.M. and A.M. SCHLEHUBER. 1951. Mechanics of feeding of the greenbug (*Toxoptera graminum* Rond.) on Hordeum, Avena, and Triticum. *Okla. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* T-40, 1-18.
- CURRY, G. L., and FELDMAN, R. M. (1987). *Mathematical Foundations of Population Dynamics*. In: Monograph Series 3. Texas Engineering Experiment Station, College Station, TX.
- DESCAMPS, L.R., CHOPA, C.S., 2011. Population growth of *Rhopalosiphum padi* L. (Homoptera: Aphididae) on different cereal crops from the semiarid pampas of Argentina under laboratory conditions. *Chilean JAR* 71, 390-394 *Entomology*. 15, 999e1016.
- HIGLEY, L.G., PEDIGO, L.P., OSTLE, K.R., 1986. DEGDAY: a program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. *Environmental Entomology* 15, 999-1016. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/15.5.999>
- HOWE, R. W. (1967). Temperature effects on embryonic development in insects. *Annual review of entomology*, 12(1), 15-42. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.en.12.010167.000311>
- IKEMOTO, T. (2005). Intrinsic optimum temperature for development of insects and mites. *Environmental Entomology*, 34(6), 1377-1387. DOI: <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.6.1377>
- KIM, D. S., LEE, J. H., and YIEM, M. S. (2001). Temperature-dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) and its stage emergence models. *Environmental Entomology*, 30(2), 298-305. DOI: <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.2.298>
- KIRKLAND, R. L., PERIES, I. D., and HAMILTON, G. C. (1981). Differentiation and developmental rate of nymphal instars of greenbug reared on sorghum. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 743-747. DOI: <https://www.jstor.org/stable/25084229>
- LACTIN, D. J., HOLLIDAY, N. J., JOHNSON, D. L., and CRAIGEN, R. (1995). Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environmental entomology*, 24(1), 68-75. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/24.1.68>
- 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(6), 1133-1140. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/5.6.1133>
- PARK, J.J., Kwon, S.H., Kim, T.O., Oh, S.O., Kim, D-S., 2016. Temperature-dependent development and fecundity of *Rhopalosiphum padi* (L.) (Hemiptera: Aphididae) on corns. *Korean Journal of Applied Entomology*, 55, 149-160. DOI: <https://doi.org/10.5656/KSAE.2016.05.0.015>
- PENDLETON, B. B., PALOUSEK COPELAND, A. L., and MICHELS Jr, G. J. (2009). Effect of biotype and temperature on fitness of greenbug (Hemiptera: Aphididae) on sorghum. *Journal of Economic Entomology*, 102(4), 1624-1627. DOI: <https://doi.org/10.1603/029.102.0429>
- REZNAVI, A. (2001). Key to the aphids (Homoptera: Aphidinea) in Iran. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture.
- ROGERS, C. E., EIKENBARY, R. D., and STARKS, K. J. (1972). A review of greenbug outbreaks and climatological deviations in Oklahoma. *Environmental Entomology*, 1(5), 664-668. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/1.5.664>
- ROYER, T. A., PENDLETON, B. B., ELLIOTT, N. C., and GILES, K. L. (2015). Greenbug (Hemiptera: Aphididae) biology, ecology, and management in wheat and sorghum. *Journal of Integrated Pest Management*, 6(1), 19. DOI: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmv018>
- SAN CHOI, K., and KIM, D. S. (2014). Temperature-dependent development of *Ascotis selenaria* (Lepidoptera: Geometridae) and its stage emergence models with field validation. *Crop Protection*, 66, 72-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.08.020>
- SCHOOLFIELD, R. M., SHARPE, P. J. H., and MAGNUSON, C. E. (1981). Non-linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *Journal of Theoretical Biology*, 88(4), 719-731. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(81\)90246-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(81)90246-0)
- SHAHROKHI, S. 2024. Estimation temperature indices for development of the most important wheat and barley aphids (Hemiptera: Aphididae) using linear and non-linear models. Final Report. Iranian Research Institute for Plant Protection. pp 47. Project No.: 02-16-16-036-990208
- SHARPE, P. J., and DeMICHELE, D. W. (1977). Reaction kinetics of poikilotherm development. *Journal of Theoretical Biology*, 64(4), 649-670. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(77\)90265-X](https://doi.org/10.1016/0022-5193(77)90265-X)
- SHEHATA, H. F., ABDEL-RAHMAN, M. A., MAHMOUD, A. M., and AHMED, M. H. A. (2018). Temperature effects on the development, survival and reproductive potential of the Greenbug aphid, *Schizaphis graminum* (Rondani)(Homoptera: Aphididae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6, 211-215.
- SHI, P., GE, F., SUN, Y., and CHEN, C. (2011). A simple model for describing the effect of temperature on insect developmental rate. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 14(1), 15-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2010.11.008>
- TOFANGSAZI, N., KHERADMAND, K., SHAHROKHI, S., and TALEBI, A. 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*. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10045-012-0052-1>
- 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.
- Van KIRK, J. R., and ALINIAZI, M. T. (1981). Determining low-temperature threshold for pupal development of the western cherry fruit fly for use in phenology models. *Environmental entomology*, 10(6), 968-971. DOI: <https://doi.org/10.1093/ee/10.6.968>
- WAGNER, T. L., WU, H. I., FELDMAN, R. M., SHARPE, P. J., and COULSON, R. N. (1985). Multiple-cohort approach for simulating development of insect populations under variable temperatures. *Annals of*

- the Entomological Society of America, 78(6), 691-704. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/78.6.691>
- WAGNER, T. L., WU, H. I., SHARPE, P. J., SCHOOLFIELD, R. M., and COULSON, R. N. (1984a). Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America*, 77(2), 208-220. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/77.2.208>
- WAGNER, T. L., WU, H. I., SHARPE, P. J., and COULSON, R. N. (1984b). Modeling distributions of insect development time: a literature review and application of the Weibull function. *Annals of the Entomological Society of America*, 77(5), 475-483. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/77.5.475>
- ZHANG, Y., LIU, X., FRANCIS, F., XIE, H., FAN, J., WANG, Q., ... and CHEN, J. (2022). The salivary effector protein Sg2204 in the greenbug *Schizaphis graminum* suppresses wheat defence and is essential for enabling aphid feeding on host plants. *Plant Biotechnology Journal*, 20(11), 2187-2201. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.13900>