

زیست شناسی دمایی کرم گلوگاه انار (*Lep.: Pyralidae*) *Ectomyelois ceratoniae* Zeller بر اساس مدل های خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای

کبیر عیدوزهی^۱، سلطان رون^{۲*}، محمود سوف باف سرجمی^۳، عباس خانی^۲
۱. دانشجوی دکتری گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳. پژوهشکده کشاورزی هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، کرج، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲)

چکیده

کرم گلوگاه انار، (*Lep.: Pyralidae*) *Ectomyelois ceratoniae* Zeller، آفتی اقتصادی، پلی فاژ و با پراکنش جهانی است که بعضی از محصولات باغی و انباری را مورد حمله قرار می دهد. طول دوره ی رشدونمو دوره جنینی (تخم)، سنین مختلف لاروی، شفیرگی و کل دوره ی نابالغ کرم گلوگاه انار با استفاده از دو مدل خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای در دامنه ی دمایی ۱۰-۳۵ درجه ی سلسیوس در شرایط آزمایشگاهی بررسی شد. بر اساس نتایج، دما، طول دوره ی رشد و نمو مراحل رشدی کرم گلوگاه انار را در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر قرار داد و افزایش دما کاهش طول دوره رشد و نمو را بدنبال داشت. در این تحقیق از مدل های خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای به منظور توصیف اثر دما بر رشد و نمو کرم گلوگاه انار استفاده شد. هر چند هر دو مدل برآزش مناسبی روی داده ها داشتند، ولی با توجه به معیار های آماری، مقادیر برآورد شده توسط مدل ایکموتو و تاکای به عنوان شاخص های دمایی کرم گلوگاه انار در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل خطی ایکموتو و تاکای، نیاز گرمایی مراحل رشدی جنینی، کل دوره لاروی، شفیرگی و کل دوره نابالغ کرم گلوگاه انار به ترتیب ۴۶/۱۹، ۵۷۷/۷۳، ۱۶۷/۴۴ و ۸۳۱/۰۰ روز-درجه بود و مقادیر دمای آستانه پایین دمای رشد و نمو برای مراحل یاد شده با به کارگیری مدل ایکموتو و تاکای به ترتیب ۱۱/۲۹، ۴/۲۹، ۴/۵۵ و ۴/۸۳ درجه سلسیوس برآورد شد.

واژه های کلیدی: زمان رشد فیزیولوژیک، رشد و نمو، مدل خطی، *Ectomyelois ceratoniae*

Thermal biology Carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (*Lep.: Pyralidae*) Based on Degree-Day and Ikemoto-Takai linear models

Karaj, Iranan ravan², Mahmoud Soufbaf³, Abbas Khani²

Kabir Eyidozahi¹, Sult1. PHD Student, Department of Plant Protection, University of Zabol, Zabol, Iran.

2. PHD Student, Associated Professor, Department of Plant Protection, University of Zabol, Zabol, Iran.

3. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute,

(Received: Jul, 28, 2022 - Accepted: Sep, 13, 2022)

ABSTRACT

Carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (*Lep.: Pyralidae*) is an economic pest, polyphagous, and globally distributed that attacks many crops throughout field and storage times. Developmental time of incubation period, larval period, pupal period, and overall immature stages of the carob moth were recorded in temperatures ranging from 10 to 35 °C under laboratory conditions. According to results outputs, temperature affected significantly developmental time of the carob moth at 1% significance level and increasing temperature lead to decreasing developmental time. Degree-Day and Ikemoto-Takai linear models were used to describe temperature-dependent development of the carob moth in this research. Although both of the linear models had shown an acceptable fitting to the experimental data, due to better statistical criteria, estimation of the Ikemoto-Takai linear model was considered as thermal indices of the pest. Estimated values for thermal requirement of incubation period, total larval period, pupal period and overall immature stages of the carob moth were 46.19, 577.73, 167.44 and 831.00 degree-days, respectively. Moreover, the values of the lower temperature threshold for the mentioned developmental stages were 11.29, 4.29, 4.55 and 4.83°C, respectively, using Ikemoto-Takai linear model.

Keywords: Physiological development time, Growth and development, linear model, *Ectomyelois ceratoniae*

* Corresponding author E-mail: soltanravan@uoz.ac.ir

مقدمه

شب‌پره کرم گلوگاه انار با نام عمومی انگلیسی carob moth و با نام علمی (*Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) یک آفت مهم و پلی‌فاژ روی بعضی از محصولات باغی و انباری در آسیای غربی و نواحی مدیترانه و به عنوان یک آفت مهم در باغات انار در ایران می‌باشد. همچنین این آفت در کشورهایمانند ایالات متحده و تونس هر ساله خسارت معنی‌داری به محصول خرما وارد می‌کند (Nay, 2006). در حال حاضر بیش از ۸۰ درصد محصول انار هم در مرحله درختی و هم در مرحله نگهداری مورد حمله و آسیب این حشره قرار می‌گیرد (Shakeri, 2003). خسران اقتصادی این آفت با توجه به ارقام، شرایط اقلیمی، سطح زیر کشت و سال‌های مختلف در حدود ۳۰ تا ۹۰ درصد کل محصول می‌باشد (Shakeri and Daneshvar, 2004). بررسی‌های گسترده‌ای که در مورد این آفت در کشور انجام شده به لزوم استفاده از روش‌های کنترل تلفیقی در مدیریت این آفت تاکید دارد (Shakeri, 2003). در کشورهای مجاور، علیرغم تحقیقات گسترده در مورد استفاده از روش‌های غیر شیمیایی، استفاده از حشره کش‌ها همچنان مطرح است (Gothlif, 1969; Warner et al., 1990). روش‌های متداول کنونی مبارزه از جمله روش زراعی و مکانیکی نیز کارایی کافی را ندارند هر چند که هر کدام از این روش‌ها اثرات مثبتی در کاهش جمعیت آفت نشان داده‌اند (Shakeri, 2003). فرمون‌ها با هدف ایجاد اختلال در جفت‌گیری به عنوان یک روش در کنترل جمعیت این آفت استفاده شده‌اند ولی استفاده از این روش نیز مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است که با وجود کاهش هزینه‌های تولید فرمون، هنوز با روش کنترل شیمیایی قابل مقایسه نیست (Shakeri and Daneshvar, 2004). استفاده از

سایر روش‌های کنترل مانند دشمنان طبیعی بومی انجام نشده است از طرفی چون کرم گلوگاه انار، آفت مستقیم انار است علاقه‌ی چندانی به پژوهش در مورد دشمنان طبیعی آن برای کنترل عملی آفت دیده نمی‌شود. به هر حال نتایج قابل توجه استفاده از روش ناباورسازی حشرات در سطوح پایلوت در ایران و تونس در کاهش چند برابری خسارت، نویدبخش کنترل موثر آفت در آینده‌ای نه چندان دور با استفاده از این روش می‌باشد (Abderrahmane et al., 2002; Mediouni et al., 2004; Soofbaf et al., 2017).

کم و بیش تمامی روش‌های کنترلی مانند کنترلی مکانیکی مشتمل بر گردآوری و آتش زدن انارهای آلوده، مهار زراعی مشتمل بر کوددهی و هرس، کنترل بیولوژیکی مشتمل بر استفاده از زنبور تریکوگراما و کنترل شیمیایی توسط کشاورزان متعدد مورد استفاده قرار گرفته است، اما هیچ یک به تنهایی نمی‌تواند به عنوان راه حلی موثر در برابر این آفت پیشنهاد شود و مدیریت تلفیقی با مجموعه‌ای از این رویه‌ها مطابق با اصول مدیریت تلفیقی چندان مورد استفاده قرار نگرفته است. اولین ضرورت در تدوین یک برنامه مدیریت جمعیت برای هر آفت، دانستن سطح زیان اقتصادی آن آفت است و یکی از دلایل اصلی ناکامی در مدیریت این آفت می‌تواند عدم اطلاع از این شاخصه و در نتیجه عدم تصمیم‌سازی درست در مورد زمان دقیق مهار آن باشد. البته عدم پرداخت جدی به این مقوله را بایستی در بخش‌های دیگر همچون تولید خرده مالکی انار در کشور جستجو نمود که خود باعث تنوع بسیار بالا در سطوح تحمل خسارت آفت در انار می‌گردد و این عدم یکپارچگی در سیاست‌های تولید در پیاده سازی برنامه‌های مدیریت یکپارچه نیز خلل وارد می‌کند. امروزه تعیین زمان ظهور مراحل مختلف بیولوژیکی حشرات بر اساس ارزیابی و فنولوژی گیاهی به دلیل ازدیاد سرعت گرمایش جهانی دقت پذیر نیست و بنابراین

هدف آماده کردن مدل پیش‌آگاهی از وقوع دوره‌های زمانی حضور و فعالیت مراحل بیولوژیکی کرم گلوگاه انار، برآورد شاخص‌های دمایی مؤثر بر رشد و نمو آن در شرایط آزمایشگاهی، روش قابل قبولی است که برای تخمین اندازه این شاخص‌های دما از مدل‌های ریاضی خطی و غیرخطی استفاده می‌شود (Kontodimas *et al.*, 2004).

مدل‌های خطی از نظر سادگی محاسبه و آسانی و اینکه ارزیابی قابل قبولی از آستانه پایین دمای رشد نمایش می‌دهند، به طور وسیع‌ای برای ارزیابی دمای مورد نیاز حشرات و آستانه دمای پایین رشد مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kontodimas *et al.*, 2004). استفاده از یک رابطه خطی برای توصیف روند رشد در دماهای بالاتر و پایین‌تر از محدوده تغییرات خطی در نرخ رشد می‌تواند منجر به تخمین کم و بیش نرخ رشد در این دماها شود (Davidson, 1944; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009) و لذا در مناطقی که حشره در معرض دمای خارج از محدوده خطی قرار دارد، استفاده از مدل غیرخطی مشکلات مربوط به مدل‌های خطی را حل می‌کند (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009).

مدل‌های مختلفی برای توصیف رشد و نمو به عنوان تابعی از دما وجود دارد، اما مقیاس خاصی برای تعیین اینکه کدام یک برای مدیریت تلفیقی آفات شایسته‌تر است وجود ندارد (Davidson, 1944; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009). مدل روز-درجه آسان‌ترین مدل ریاضی است که برای تشریح رابطه بین سرعت رشد و دما استفاده می‌شود (Campbell *et al.*, 1974; Kontodimas *et al.*, 2004). ولی با مشاهده خطاهایی در برآورد مقادیر شاخص‌های دمایی در این مدل، ایکموتو و تاکای با ایجاد تغییراتی، رابطه جدیدی برای برآورد دقیق‌تر مقدار آستانه پایین دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی و توصیف رشد و نمو وابسته به دمای بندپایان ارائه کردند که امروزه از آن به عنوان مدل ایکموتو و تاکای یاد می‌شود (Hartley and Lester, 2003; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009).

استفاده از شاخصه روز-درجه^۱ بر مبنای اندازه‌گیری-های سال قبل دارای تقدم است. بر این اساس پژوهشگر پس از مطالعه زیست‌شناسی آفت در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی و با استفاده از مدل‌های مربوط، فنولوژی حشره آفت را برآورد کرده و بر اساس آن می‌تواند پیدایش مراحل سنی و نسل‌های گوناگون یک حشره را پیش‌گویی کند. محققان مختلف زمان پیدایش حشرات بالغ بسیاری از حشرات آفت را در نواحی گوناگون، بر اساس پارامترهای متعلق به فنولوژی گیاه به نام «اندازه میوه» پیش‌گویی می‌کنند. اساساً این مشخصه بر اساس زمان فیزیولوژیکی حشره آفت مرتبط، ارزیابی می‌شود و برای تسهیل در شناسایی زمان ظهور و تصمیم‌سازی برای اقدامات مدیریتی به کشاورز ابلاغ می‌شود. از این رو برای کرم گلوگاه انار بدون ارزیابی زمان فیزیولوژیکی حشره و ثبت مصادف با وضعیت فنولوژیکی درخت انار نمی‌توان پیشنهاد صحیحی در مورد خصوصیات گیاه ارائه داد (Soofbaf *et al.*, 2017).

در پیش‌آگاهی پیشرفته، حدوث مراحل فنولوژیک آفت با استفاده از سن فیزیولوژیک آن تخمین زده می‌شود. در این روش برآورد مقادیر شاخص‌های دمایی آفت، به ویژه آستانه پایین دمای رشد و نمو، آستانه بالای دمای رشد و نمو و نیاز گرمایی هر یک از مراحل فنولوژیک آفت ضروری است. برآورد شاخص‌های مذکور با استفاده از مدل‌های ریاضی توصیف‌کننده رشد و نمو وابسته به دما انجام می‌شود. در این روش مدل‌های پیش‌آگاهی براساس میزان گرمای مؤثر روزانه دریافت شده از محیط (روز-درجه) تهیه می‌شوند. این مدل‌ها قادرند زمان حدوث مراحل فنولوژیک آفات را با استفاده از داده‌های دمای محیط پیش‌بینی نمایند. در یک روش نوین تغییرات واقعی دمای شبانه‌روز برای برآورد سن فیزیولوژیک آفت بکار می‌رود. مدل پیش‌آگاهی فنولوژیک تهیه شده با استفاده از این روش دقیق‌تر بوده و کمترین مقدار خطا را دارد (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009).

خارج شده به طور روزانه مورد بررسی قرار گرفت. لاروها به صورت انفرادی داخل ظروف پلاستیکی استوانه‌ای به قطر ۶٫۵ و ارتفاع سه سانتیمتر قرار داده شدند. در ادامه ضمن ثبت تاریخ شفیره شدن هر یک از لاروها و تاریخ خروج شب-پرکها از شفیره‌های مورد بررسی، طول دوره شفیرگی افراد نیز در دماهای مورد بررسی ثبت شد (Soltani Orang *et al.*, 2014).

بررسی آزمایشگاهی تاثیر دما روی رشد و نمو و دموگرافی کرم گلوگاه انار

در این پژوهش، اثر دما بر نشو و نماي کرم گلوگاه انار در هشت دمای ۱۰، ۱۴، ۲۰، ۲۵، ۲۷، ۳۰، ۳۳ و ۳۵ درجه سلسیوس بررسی گردید (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009). بدین منظور کلیه‌ی اتفاقات‌های زندگی حشره از تولد تا مرگ در درون اتاقک‌های رشد با دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد ثبت و فراسنجه‌های دموگرافیک کرم گلوگاه انار ارزیابی گردید (داده‌های منتشر نشده). از داده‌های مربوط به دوره نشو و نماي مراحل نابالغ در این مطالعه استفاده گردید.

تاثیر دما بر نرخ رشد و نمو کرم گلوگاه انار و استفاده از مدل‌های ریاضی برای توصیف آن
در هر یک از دماهای مورد بررسی، ۶۰ تخم تازه گذاشته شده با طول عمر کمتر از ۲۴ ساعت برای هر تیمار انتخاب و زمان رشد مراحل نابالغ تا ظهور حشرات بالغ ثبت شد. نرخ رشد و نمو مراحل مختلف بیولوژیکی کرم گلوگاه انار با معکوس کردن دوره رشد و نمو هر مرحله بیولوژیکی محاسبه شد و رابطه آن با دما با استفاده از مدل‌های ریاضی خطی و غیرخطی توصیف شد.

مدل‌های خطی

برای تحقیق ارتباط خطی بین دما و سرعت رشدونمو و تعیین آستانه دمایی پایین و ثابت گرمایی از دو مدل خطی کمپبل و همکاران (۱۹۷۴) یا مدل روز-درجه و مدل خطی ایکموتو تاکای استفاده گردید.

با توجه به عدم وجود تحقیقات کافی در خصوص زیست‌شناسی دمایی کرم گلوگاه انار در کشور، در تحقیق حاضر تاثیر دما بر روند رشدونمو این آفت مهم، در چند دمای مشخص بررسی شد. در ادامه از مدل‌های خطی یاد شده، برای بررسی ارتباط خطی بین دما و رشد و نمو حشره آفت استفاده شد و بر اساس برازش مناسب مدل‌ها بر داده‌های تجربی، شاخص‌های اصلی دمایی رشدونمو کرم گلوگاه برآورد شد.

مواد و روش

جمع‌آوری نمونه

همزمان با مرحله رسیدگی میوه انار، روزانه از باغات انار بازدید شد و میوه‌های آلوده به آفت حاوی لارو و یا شفیره جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و قسمتی از آنها نیز در قفس‌های توری چوبی به ابعاد 50×50 سانتی‌متر در اتاق حرارت ثابت نگهداری شدند. انارهای آلوده منتقل شده به آزمایشگاه، به دقت شکافته و پس بررسی و شناسایی لاروهای سنین مختلف و شفیره‌های آنها جداسازی شدند.

تشکیل کلنی آزمایشگاهی کرم گلوگاه انار

ایجاد جمعیت حشرات در یک کارگاه تولید حشرات با شرایط استاندارد درون اتاقک‌های رشد کارگاه با رژیم نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام شد. برای اجرای این آزمایش در هر دما، ۶۰ تخم تازه گذاشته شده کرم گلوگاه انار (با عمر کمتر از ۲۴ ساعت) داخل لوله آزمایش، درون هر یک از اتاقک‌های رشد قرار داده شد. تخم‌های یاد شده به صورت دسته‌جمعی، داخل یک لوله آزمایش شیشه‌ای استریل شده به طول ۱۰ و قطر ۱٫۵ سانتی‌متر قرار داده شدند. تخم‌ها روزانه بازدید و تعداد تخم‌های تفریخ شده در هر دما ثبت شد. رشدونمو لارو و شفیره نیز در دماهای ذکر شده تا زمان ظهور حشرات کامل مورد بررسی قرار گرفت.

در هر دما، روند رشد و نمو لاروهای تازه

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه‌ی رگرسیون و همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS (version 16) انجام شد. با توجه به تعداد مساوی پارامترها در دو مدل، به منظور مقایسه مدل‌های از شاخص آماری ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. مقدار این شاخص با استفاده از نرم افزار آماری مذکور محاسبه شد.

نتایج و بحث

رشدونمو تابع دمای کرم گلوگاه انار در دماهای ثابت آزمایشگاهی

طول دوره‌ی رشدونمو مراحل زیستی تخم (جنینی) لاروی، شفیرگی و کل دوره‌ی رشدونمو نابالغ، همچنین بیشینه و کمینه دوره رشد مراحل مختلف زیستی کرم گلوگاه انار در هشت دمای آزمایشگاهی در جدول ۱ نشان داده شده است.

مرحله تخم

نتایج حاصل از بررسی رشد و نمو کرم گلوگاه انار نشان داد که مرحله تخم این آفت در دماهای ۱۰ و ۳۵ درجه سلسیوس می‌تواند رشد و نمو داشته است. میانگین دوره جنینی کرم گلوگاه انار در دماهای مورد بررسی از ۱۱/۰۰ روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا ۲/۴ روز در دمای ۳۵ درجه سلسیوس متغیر بود. دوره جنینی کرم گلوگاه انار با افزایش دما تا ۳۵ درجه سلسیوس کاهش پیدا کرد. طولانی‌ترین طول دوره‌ی رشد و نمو در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و کوتاه‌ترین طول دوره‌ی رشد و نمو در دمای ۳۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید.

مرحله لاروی

مرحله لاروی کرم گلوگاه انار در هشت دمای مورد بررسی، رشد و نمو داشت میانگین طول دوره‌ی لاروی از ۷۴/۶۳ روز در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد تا ۱۹/۰۰ روز در دمای ۳۵ درجه سلسیوس متغیر بود. طول دوره‌ی لاروی از دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا ۳۵

مدل روز- درجه یا مدل خطی معمولی یا مدل کمپبل

این مدل از روش دمای مؤثر کل پیروی می‌کند بدین ترتیب که دما به عنوان متغیر مستقل و نرخ رشد و نمو به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. این ساده‌ترین مدل ریاضی برای تعیین صفر رشدی و نیاز گرمایی حشرات و کنه‌ها است که به دلیل سادگی برآورد و نبود پارامترهای زیاد، در توصیف مدل‌های ترمودینامیکی مورد علاقه اکثر حشره شناسان قرار می‌گیرد (Moshtaghi Maleki *et al.*, 2015) و معادله‌ی آن به شرح زیر می‌باشد:

$$D = K / (T - t_{\min})$$

که در آن D طول دوره رشد و نمو، T دمای محیط رشد و نمو، T_{\min} آستانه پایین دمایی رشد و نمو (دمای صفر رشدی) و K ثابت دمایی می‌باشد. شکل معمولی تغییر یافته‌ی آن به صورت زیر است:

$$\frac{1}{D} = -\frac{t_{\min}}{K} + \frac{1}{K}T$$

در این مدل $1/D=y$ نرخ نشو و نما و T دمای محیط می‌باشد. با نگرش معادله‌ی خط راست $y=a+bx$ در فرمول مافوق، عکس شیب خط ($1/b$) و عرض از مبدا (a/b) به ترتیب معرف ثابت دمایی (K) و آستانه‌ی دمایی پایین نشو و نما (t_{\min}) می‌باشند که با قرار دادن سمت چپ معادله با صفر به راحتی قابل تخمین است (Campbell *et al.*, 1974; Moshtaghi *et al.*, 2015).

مدل خطی ایکه موتو تاکائی

این مدل به صورت $DT = K + DT_{\min}$ ارائه شده است، که در آن D طول دوره رشد و نمو، T دما، پارامترهای خط رگرسیون شامل شیب خط (یعنی T_{\min}) و عرض از مبدا (یعنی K) به ترتیب آستانه پایین دمای رشد و نمو و ثابت دمایی (نیاز گرمایی) است (Ikemoto and Takai, 2000; Damos *et al.*, 2011; Damos and Savopoulou-Soultani, 2012; Moshtaghi Maleki *et al.*, 2015).

میانگین طول دوره‌ی رشد کل مراحل نابالغ از ۱۰/۶۳ روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا ۲۷/۱۷ روز در دمای ۳۵ درجه سلسیوس متغیر بود. طولانی‌ترین طول دوره‌ی رشد کل مراحل نابالغ در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و کوتاه‌ترین طول دوره‌ی رشد در دمای ۳۵ درجه سلسیوس بود. براساس نتایج مطالع حاضر مشخص شد با افزایش دما از ۱۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس طول دوره‌ی رشد و نمو مراحل مختلف رشدی کرم گلوگاه کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج آزمایشگاهی بیان شده بین دماهای مورد بررسی، برای مراحل تخم، لارو، شفیره و کل مراحل نابالغ دمای بهینه باید بین ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس باشد زیرا در این محدوده دمایی بالاترین نرخ رشدونمو بدست آمد. وجود اختلاف معنی‌دار بین دوره رشد تمام مراحل نابالغ تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.0001$).

درجه سلسیوس کاهش یافت. طولانی‌ترین طول دوره‌ی رشد و نمو در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و کوتاه‌ترین طول دوره‌ی رشد و نمو در دمای ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده شد.

مرحله شفیرگی

طول دوره‌ی مرحله شفیره کرم گلوگاه انار از ۲۳/۰۰ روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا ۵/۷۴ در دمای ۳۵ درجه سلسیوس متغیر بود. طول دوره‌ی شفیره گی از دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا ۳۵ درجه سلسیوس کاهش یافت. طولانی‌ترین طول دوره شفیرگی در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بود و کوتاه‌ترین طول دوره‌ی شفیرگی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس بود.

کل مراحل نابالغ

جدول ۱. میانگین طول دوره رشد و نمو (\pm SE روز) مراحل رشدی کرم گلوگاه انار در دماهای مورد مطالعه.

Table 1. Mean developmental times (Day \pm SE) of the carob moth stages in studied temperatures.

Developmental Stage	Temperature (°C)	No. of Individual	Developmental Time		
			Min.	Max.	Mean \pm SE
Incubation Period	10	60	11	11	11.00 \pm 0.00 ^f
	14	56	9	9	9.00 \pm 0.00 ^d
	20	56	7	8	7.68 \pm 0.06 ^c
	25	51	6	7	6.2 \pm 0.05 ^b
	27	48	6	7	6.2 \pm 0.05 ^b
	30	49	2	5	2.95 \pm 0.05 ^a
	33	47	2	5	2.42 \pm 0.07 ^a
	35	45	3	5	2.4 \pm 0.07 ^a
Larval Period	10	58	74	76	74.63 \pm 0.07 ^b
	14	52	65	65	65.00 \pm 0.00 ^e
	20	51	58	59	58.12 \pm 0.04 ^f
	25	47	26	28	27.07 \pm 0.04 ^e
	27	46	25	25	25.00 \pm 0.00 ^d
	30	44	33	25	24.23 \pm 0.06 ^c
	33	42	21	22	21.1 \pm 0.03 ^b
	35	39	19	19	19.00 \pm 0.00 ^a
Pupal Period	10	35	28	29	23.00 \pm 0.00 ^e
	14	32	20	21	17.95 \pm 0.05 ^f
	20	29	14	16	14.3 \pm 0.06 ^c
	25	35	8	9	8.46 \pm 0.06 ^d
	27	33	6	8	7.00 \pm 0.00 ^c
	30	35	5	7	5.77 \pm 0.06 ^b
	33	33	5	6	5.75 \pm 0.05 ^b
	35	33	28	29	5.74 \pm 0.05 ^a
Total Immature Stages	10	35	108	110	108.63 \pm 0.07 ^h
	14	32	89	92	91.95 \pm 0.05 ^e
	20	29	79	82	80.1 \pm 0.11 ^f
	25	35	40	43	41.67 \pm 0.09 ^e
	27	33	38	39	38.2 \pm 0.05 ^d
	30	35	31	34	32.95 \pm 0.09 ^c
	33	33	28	31	29.27 \pm 0.08 ^b
	35	33	26	29	27.17 \pm 0.07 ^a

میانگین‌های طول دوره‌ی رشدونمو هر یک از مراحل رشدی که دارای حروف متفاوت هستند، دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند ($p < 0.0001$).

* Means with different letters are significant different in each developmental stage ($p < 0.0001$)

میزان آستانه پایین دما را زیادتر و نیاز گرمایی را کم تر ارزیابی کرده است.

تعیین آستانه حداقل دمایی و نیاز دمایی مراحل مختلف رشدی کرم گلوگاه انار با استفاده از مدل های خطی

دوره تخم

نتایج معنی دار ($P = 0/002$) تجزیه رگرسیون خطی برای دوره تخم این آفت در شکل ۱ و جدول ۲ نشان داده است. برای این مرحله رابطه خطی قوی بین دما و نرخ رشد و نمو به دست آمد (جدول ۲). با توجه به این معادله، آستانه حداقل دمایی برای دوره رشد و نمو آفت ۵/۰۷ درجه سلسیوس و مجموع نیاز دمایی آن ۷۲/۹۹ روز-درجه محاسبه گردید. معادله خطی به روش ایکموتو و تاکای برای دوره تخم نیز تشکیل شد (شکل ۲ و جدول ۲).

بر اساس فرمول به دست آمده، آستانه حداقل دمایی برای این دوره ی رشد آفت با روش ایکموتو و تاکای ۱۱/۲۹ درجه سلسیوس و مجموع نیاز دمایی ۴۶/۱۹ روز-درجه محاسبه شد (شکل ۲). با توجه به سطح معنی داری رگرسیون و R^2 تصحیح شده (R^2_{adj}) رابطه خطی حاصل شده برای هر رگرسیون خطی قوی می باشد. نتایج نشان داد آستانه نیاز دمایی و حداقل دمایی ارزیابی شده برای مرحله رشدی تخم با دو روش رگرسیون خطی مورد استفاده مشابه می باشد.

دوره ی لاروی

نرخ رشد برای دوره لاروی کرم گلوگاه انار در جدول ۱ نشان داده است. معادله رگرسیون خطی برای دوره ی لاروی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به پارامترهای رگرسیون رابطه بدست آمده معنی دار می باشد ($P = 0/002$). حداقل آستانه دمایی برای دوره لاروی آفت به روش معمولی ۲/۸۵ درجه سلسیوس محاسبه شد و کل دمای مورد نیاز آن ۶۲۵/۰۰ روز-درجه بود (جدول ۲). فرمول خطی به روش ایکموتو و تاکای برای دوره لاروی کرم گلوگاه ایجاد شد (شکل ۲

ارزیابی مدل های خطی در توصیف روند رشد و نمو تابع دمای کرم گلوگاه انار

در تخمین مدل های خطی مورد مطالعه، نتایج نشان داد که در همه مراحل رشد کرم گلوگاه انار، دمای ۲۰ درجه سلسیوس باعث زیاد شدن طول دوره رشد و در نتیجه کم شدن سرعت رشد (نرخ رشد و نمو) و در نتیجه انحراف از رابطه خطی می شود. از این رو به قصد ارزیابی صحیح آستانه پایین دمایی و نیاز گرمایی مراحل مختلف رشدی تخم، این دما از تجزیه رگرسیون های خطی، حذف شد. روند مشابهی در مطالعات دیگر محققان در خصوص برخی دماها طی شده است (Declerq and Degheele, 1992; Ranjbar (Aghdam *et al.*, 2009).

اگر مشاهدات خارج از محدوده خطی حذف نشوند، تغییرات در سرعت رشد و نمو در دماهای مختلف منجر به کاهش ضریب تبیین اصلاح شده (R^2_{adj}) و ضریب تبیین (R^2) می شود و در نتیجه تناسب خوبی بین مشاهدات و مدل خطی نمی توان پیدا کرد. همان گونه که در شکل های ۱ و ۲ مشاهده می شود، هر دو مدل خطی برازش خوبی با داده ها نشان دادند. نتایج برازش داده های حاصل از مراحل رشدی نابالغ با مدل های خطی و همچنین ضریب تبیین اصلاح شده، ضریب تبیین و سطح احتمال معنی داری رگرسیون در جدول ۲ ارائه شده است ($p < 0.0001$).

اما بر اساس نتایج، تفاوت معنی داری بین دو مدل از نظر دقت در پیش بینی روند رشد در دماهای مختلف وجود ندارد. در پژوهش حاضر رابطه خطی بین سرعت رشد و دما در محدوده دمایی مورد مطالعه از نظر آماری قابل قبول است، اما از آنجایی که ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده در مدل ایکموتو و تاکای بیشتر از مدل خطی معمولی بود مقادیر برآورد شده بوسیله این مدل از درجه اطمینان بالاتری بهره مند بودند.

نتایج نشان داد مدل ایکموتو و تاکای نسبت به مدل خطی معمولی (روز-درجه) در تمام مراحل نابالغ

و جدول ۲). با استفاده از این مدل حداقل آستانه دمایی برای این دوره از رشد آفت ۴/۲۹ درجه سلسیوس و کل دمای مورد نیاز ۵۷۷/۷۳ درجه روز محاسبه شد.

دوره شفیرگی

نرخ رشد مرحله شفیرگی کرم گلوگاه انار با استفاده از میانگین طول دوره‌ی شفیرگی محاسبه شد (جدول ۱). بین دماهای آزمایشی و نرخ رشد آنها رگرسیون خطی قرار گرفته شد (شکل ۱ و جدول ۲). نتایج رگرسیون وجود رابطه‌ی قوی و معنی‌دار بین نرخ رشد و دما نشان داد.

آستانه حداقل دمایی برای این دوره آفت با روش معمولی ۳/۳۹ درجه سلسیوس و مجموع نیاز دمایی آن ۱۷۲/۴۱ روز-درجه محاسبه گردید (جدول ۲). آستانه حداقل دمایی و مجموع نیاز دمایی برای این دوره‌ی رشد آفت با روش معمولی در جدول ۲ آمده است. معادله خطی به روش ایکموتو و تاکای برای دوره‌ی شفیرگی این آفت در شکل ۲ و جدول ۲ آورده شده است. با استفاده از این معادله، آستانه حداقل دمایی برای این دوره رشد آفت، ۴/۵۵ درجه سلسیوس و مجموع نیاز دمایی ۱۶۷/۴۴ روز-درجه محاسبه شد.

دوره‌ی رشد از مرحله تخم تا ظهور حشره کامل

نتایج تجزیه رگرسیون خطی برای دوره‌ی نابالغی آفت نشان داد که رابطه‌ی معنی‌داری بین نرخ رشد دوره‌ی نابالغی آفت و دما وجود دارد (جدول ۱). آستانه حداقل دمایی برای دوره‌ی نابالغی آفت با روش معمولی، ۳/۹۰ درجه سلسیوس و مجموع نیاز دمایی آن ۹۰۹/۰۹ روز-درجه به دست آمد (جدول ۲). معادله خطی به روش ایکموتو و تاکای برای دوره تخم تا ظهور حشره کامل آفت تشکیل شد و بر اساس نتایج، آستانه حداقل دمایی برای کل دوره نابالغ برابر ۴/۸۳ درجه سلسیوس و مجموع نیاز دمایی ۸۳۱/۰۰ روز-درجه محاسبه شد (جدول ۲).

از این رو در تحقیق موجود آستانه دمایی پایین برای مراحل مختلف رشد کرم گلوگاه انار با مدل خطی

معمولی بین ۲/۸۵ تا ۵/۰۷ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل ایکموتو و تاکای بین ۴/۲۹ تا ۱۱/۲۹ درجه سلسیوس ارزیابی شد (جدول ۲). آستانه پایین دمای رشد توسط مدل خطی معمولی در مرحله تخم ۶/۲۲ درجه سلسیوس پایین‌تر از مدل‌های ایکموتو و تاکای ارزیابی شد. در مرحله لاروی، آستانه دمایی پایین رشد ۱/۴۹ درجه سلسیوس پایین‌تر از مدل ایکموتو و تاکای توسط مدل خطی معمولی برآورد شد. در مرحله شفیرگی، آستانه دمایی رشد ۱/۱۶ درجه سلسیوس کمتر از مدل ایکموتو و تاکای توسط مدل خطی معمولی برآورد شد. و در کل مراحل نابالغ آستانه پایین دمایی بوسیله مدل خطی معمولی ۰/۹۳ درجه سلسیوس پایین‌تر از مدل ایکموتو و تاکای برآورد شد.

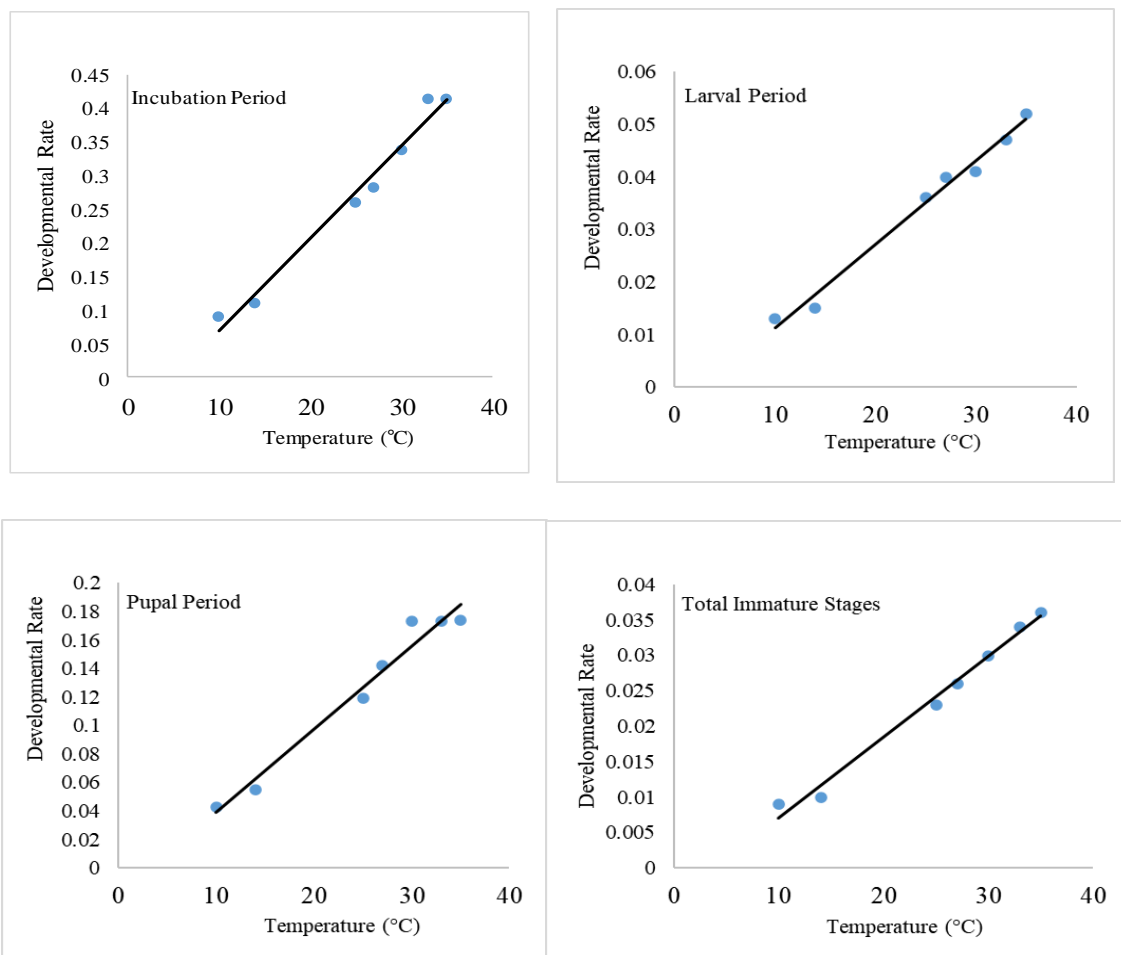
همچنین در این تحقیق نیاز گرمایی برای رشد مرحله جنینی کرم گلوگاه انار با مدل خطی معمولی ۷۲/۹۹ و ایکموتو و تاکای ۴۶/۱۹ روز-درجه ارزیابی شد، که این بدان معنی است که نیاز گرمایی مدل ایکموتو و تاکای ۲۶/۸ روز-درجه کمتر از مدل خطی معمولی ارزیابی شد. در مطالعه حاضر، نیاز گرمایی برای رشد در مرحله لاروی کرم گلوگاه انار با مدل خطی معمولی ۶۲۵/۰۰ و با مدل ایکموتو و تاکای ۵۷۷/۷۳ روز-درجه ارزیابی شد. نیاز گرمایی برای رشد در مرحله شفیره به وسیله مدل خطی معمولی ۱۷۲/۴۱ و بوسیله مدل ایکموتو و تاکای ۱۶۷/۴۴ روز-درجه بود و در مرحله کل نابالغ نیز نیاز گرمایی برای مدل خطی معمولی و ایکموتو و تاکای بترتیب ۹۰۹/۰۹ و ۸۳۱/۰۰ روز-درجه برآورد شد. منحنی برازش داده‌های به دست آمده از پرورش مراحل نابالغ کرم گلوگاه انار در دماهای مختلف با دو مدل خطی معمولی و ایکموتو و تاکای در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل شده از تحقیق، در محدوده دمایی ۱۴ تا ۳۵ درجه سلسیوس، طول دوره رشد کاهش می‌یابد، اما سرعت رشد افزایش می‌یابد.

جدول ۲. فراسنجه‌های آماری و شاخص‌های دمایی رشد و نمو وابسته به دمای مراحل نابالغ کرم گلوگاه با استفاده از دو مدل‌های خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای.

Table 2. Statistical parameters and thermal indices of temperature-dependent development of the carob moth immature stages by using Degree-Day and Ikemoto-Takai Linear models.

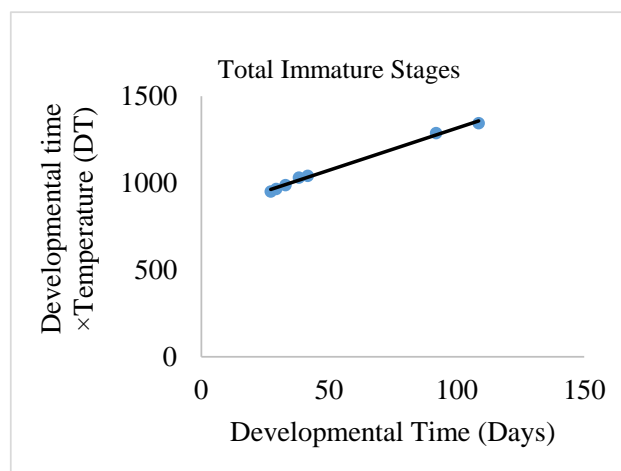
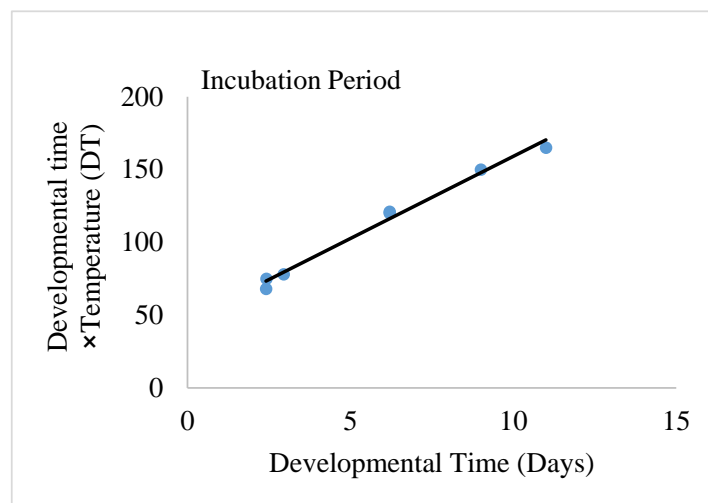
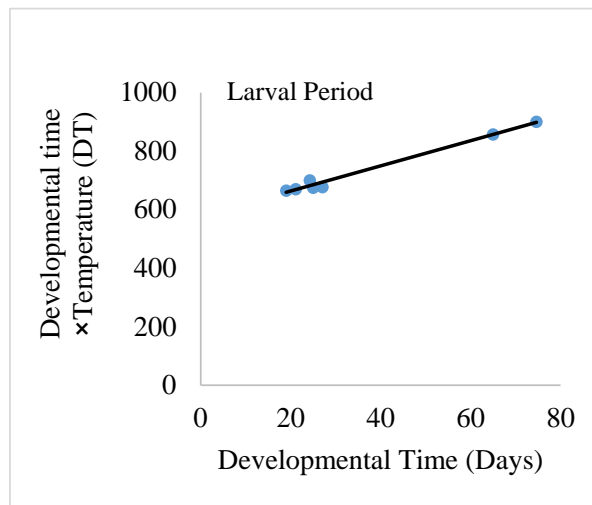
Model	Developmental Stage	Linear model	t_{min} (°C)	$K(DD)$	R^2	R^2_{adja}	P-value
Degree - Day	Incubation Period	$1/D = -0.0695 + 0.137$	5.07 ± 3	72.99 ± 0.06	0.979	98.6	0.001
	Larval	$1/D = -0.0046 + 0.0016$	2.85 ± 0.22	625.00 ± 0.05	0.985	97.6	0.002
	Pupal	$1/D = -0.197 + 0.0058$	3.39 ± 1.03	172.41 ± 0.01	0.970	97.3	0.002
	Total Immature Stages	$1/D = -0.0043 + 0.0011$	3.90 ± 0.01	909.09 ± 0.1	0.987	98.9	0.0001
Ikemoto-Takai	Incubation Period	$DT = 46.19 + 11.29$	11.29 ± 0.05	46.19 ± 6.54	0.988	98.9	0.001
	Larval	$DT = 577.73 + 4.29$	4.29 ± 0.47	577.73 ± 4.97	0.987	99.4	0.001
	Pupal	$DT = 167.00 + 4.55$	4.55 ± 1.33	167.44 ± 5.25	0.981	99.5	0.01
	Total Immature Stage	$DT = 831.00 + 4.83$	4.83 ± 0.07	831.00 ± 5.13	0.995	99.6	0.0001

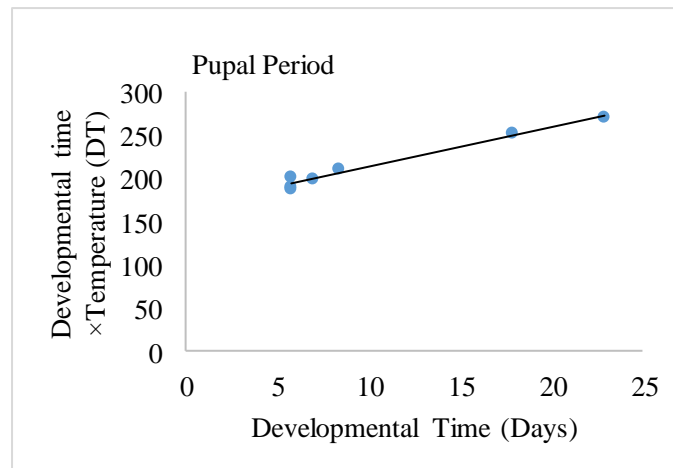
DR = Developmental rate; D = Developmental time; T = Temperature



شکل ۱. برازش مدل خطی روز-درجه به مقادیر مشاهده شده از مقادیر مقادیر مشاهده شده برای نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی کرم گلوگاه انار. دایره‌های توپر مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد.

Fig. 1. Fitting Degree-Day linear model to observed values of developmental rates (1/d) of Ectomyelois ceratoniae immature stages. Black circles represent observed values.





شکل ۲. برازش مدل ایکموتو - تاکای روی داده‌های حاصل از مشاهدات ثبت شده برای نرخ رشد و نمو مراحل مختلف رشدی کرم گلوگاه انار. دایره‌های توپر مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد.

Fig. 2. Fitting Ikemoto-Takai linear model to observed values of developmental times of *Ectomyelois ceratoniae* immature stages. Black circles represent observed values.

(Campbell *et al.*, 1974).

با توجه به نتایج به دست آمده، مدل ایکموتو و تاکای آستانه پایین دمای رشد مراحل نابالغ کرم گلوگاه انار را بالاتر از مدل خطی معمولی و نیاز دمایی کرم گلوگاه انار را کمتر از مدل خطی معمولی تخمین زد. از سوی دیگر، مدل ایکموتو و تاکای نسبت به مدل خطی روز-درجه ضریب تبیین بیشتری داشت (جدول ۲).

آستانه پایین دمای رشد و نمو یک گونه خویشاوند، کرم ساقه‌خوار نیشکر (*Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae)) با استفاده از مدل خطی روز-درجه، ۱۲ درجه سلسیوس برآورد شده که به نتایج پژوهش حاضر نزدیک است و تفاوتی که وجود دارد، جدای از اختلاف گونه، می‌تواند به دلیل تفاوت در ویژگی‌های دمایی جمعیت‌های مختلف مستقر در مناطق مختلف و تفاوت در منابع غذایی مورد استفاده حادث شده باشد (Lopez *et al.*, 2001).

در بررسی روند رشد و نمو دمایی جمعیت‌های کرم سیب مستقر در استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان و مهم‌ترین شاخص‌های دمایی رشد و نمو آنها با استفاده از مدل خطی روز-درجه، نتایج بدست آمده، تفاوت بین مقادیر برآورد شده برای هر

بحث

شرایط محیطی به ویژه دما تأثیر مستقیمی بر فرآیند-های بقا، رشد، رفتار و تولید مثل موجودات خونسرد از جمله حشرات دارد (Price, 1997; Tazerouni *et al.*, 2012). مطالعه محدوده دمایی فعالیت حشرات بهترین راه برای درک تأثیر شرایط آب و هوایی بر سازگاری و پویایی جمعیت آنها است (Terblanche *et al.*, 2007). بهره‌گیری از مدل‌های دمایی یکی از قسمت‌های اصلی سیستم‌های مدرن و پیشرفته مدیریت تلفیقی آفات محسوب می‌شود که باعث ازدیاد قابلیت و کارایی برنامه مدیریتی می‌شود. از این مدل‌ها برای پیش‌بینی ظهور و رشد جمعیت آفات و دشمنان طبیعی در مزرعه استفاده می‌شود (Sun *et al.*, 2014; Jerbi-Elayed *et al.*, 2015). علاوه بر این، این مدل‌ها را می‌توان برای تعیین زمان نمونه‌برداری، کاربرد آفت‌کش و به حداقل رساندن ناهماهنگی بین عملیات زراعی استفاده کرد. برای تفسیر رابطه بین سرعت رشد حشرات و دما، چندین مدل خطی و غیرخطی توسط محققان ارائه شده است (Huffaker and Gutierrez, 1998). مدل رگرسیون خطی یکی از رایج‌ترین مدل‌های مورد استفاده در تخمین آستانه پایین رشد و ثابت دمایی است که در محاسبه نیاز حرارتی حشرات کاربرد فراوانی دارد

های مورد مطالعه را نشان داد. آستانه‌ی پایین دمایی جمعیت‌های مختلف مستقر در مناطق مختلف، گونه حشره مورد بررسی و تفاوت در منابع غذایی مورد استفاده باشد. نیاز گرمایی مهمترین عامل محیطی موثر بر سرعت رشد بندپایان است (Dent, 2000). با توجه به اهمیت زیاد شاخص دمایی ذکر شده در تهیه مدل‌های پیش‌آگاهی وابسته به دما برای آفات، محاسبه دقیق مقدار کمی این شاخص بسیار حائز اهمیت است (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009). از سوی دیگر، در بین مدل‌های خطی و غیرخطی که رشد وابسته به دمایی بندپایان را توصیف می‌کنند، مدل‌های خطی می‌توانند به راحتی مقدار عددی این شاخص دما را تخمین بزنند و این مهم‌ترین مزیت مدل‌های خطی نسبت به مدل‌های غیرخطی است (Kontodimas *et al.*, 2004; Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009). بر این اساس، در پژوهش حاضر از دو مدل خطی روز-درجه و ایکموتو و تاکای استفاده شد. از سوی دیگر همانطور که گفته شد بر اساس معیارهای آماری مدل ایکموتو و تاکای به عنوان مدل برتر معرفی شد. با توجه به عدم معرفی مدلی مناسب برای پیش‌بینی‌های فنولوژیک کرم گلوگاه انار در کشور، امید است یافته‌های این مطالعه برای محققین فعال در امر مدیریت این آفت کلیدی به منظور تخمین برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های دمایی کرم گلوگاه انار و در تهیه مدل پیش‌آگاهی بر اساس فنولوژی وابسته به دما مورد استفاده مفید واقع گردد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از رساله دکتری نگارنده اول در رشته حشره شناسی کشاورزی می‌باشد. نگارندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه زابل مراتب سپاس و امتنان خود را اعلام می‌نمایند.

یک از شاخص‌های دمایی مورد بررسی در جمعیت-رشد و نمو کل دوره‌ی نابالغ جمعیت‌های کرم سیب در استان‌های تهران، آذربایجان غربی و اصفهان به ترتیب ۸/۳۲، ۸/۱۹ و ۹/۸۵ درجه‌ی سلسیوس تخمین زده شد (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2020). در بررسی آستانه‌ی پایین دمایی رشد و نمو (صفر رشدی) و نیاز گرمایی مراحل رشد و نمو پروانه‌ی موم خوار گالریا (*Galleria mellonella* (L.)) با استفاده از مدل خطی روز-درجه، بر اساس نتایج حاصل از مدل خطی روز-درجه، آستانه‌ی پایین دمایی مراحل رشدی جنینی (تخم)، لاروی، شفیرگی و کل دوره‌ی نابالغ گالریا به ترتیب ۱۵/۶۸، ۱۳/۸۵، ۵/۴۰ و ۱۴/۲۷ درجه‌ی سلسیوس بود. به همین ترتیب، نیاز گرمایی مراحل یاد شده ۱۰۱/۸۳، ۶۲۱/۱۲، ۲۴۲/۱۲، ۵/۴۰ و ۷۲۴/۶۳ روز-درجه بود (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2014).

در تخمین آستانه پایین دمایی رشد و نمو و دمایی مورد نیاز شب‌پره برگ‌خوار دو نواری (Lefebvre) *Streblote siva* در چهار دمایی ثابت ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس با استفاده از مدل‌های خطی معمولی (روز - درجه) و ایکموتو و تاکای نتایج نشان داد آستانه پایین دمایی رشد و نمو برای مراحل تخم، لارو، شفیره و کل دوره پیش از بلوغ بر اساس مدل خطی معمولی به ترتیب ۹۷/۸، ۷۷/۷، ۲۰/۱۲ و ۵۹/۸ درجه سلسیوس و طبق مدل ایکموتو و تاکای، به ترتیب ۲۴/۹، ۳۴/۱۰، ۱۲/۱۱ و ۴۸/۱۰ درجه سلسیوس تخمین زده شد. گرمای موثر مورد نیاز برای تکمیل رشد و نمو مراحل نابالغ با استفاده از مدل خطی معمولی و مدل ایکموتو و تاکای به ترتیب ۵۴/۱۰۲۳±۵۷/۳۴ و ۸۶/۹۲±۲۲/۵۹ روز - درجه برآورد شد (Farrar *et al.*, 2016).

که با نتایج پژوهش حاضر تفاوت دارد و دلیل آن می‌تواند به دلیل تفاوت در ویژگی‌های دمایی

REFERENCES

1. Abderrahmane, C., Dhouibi, M.H. & Mahjoub, A., 2002. Effet de l'irradiation sur certains paramètres éco-physiologiques et sur la stérilité héritée des adultes de la pyrale des dattes irradiés à différents doses de rayonnement gamma. *Revue de l'Institut National Agronomique de Tunisie*, 17(1), pp.465-470.

2. Aghdam, H. R., Fathipour, Y., Radjabi, G., & Rezapannah, M. (2009). Temperature-dependent development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. *Environmental Entomology*, 38(3), 885-895.
3. Campbell, A., Frazer, B. D., Gilbert, N. G. A. P., Gutierrez, A. P., & Mackauer, M. (1974). Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of applied ecology*, 431-438.
4. Damos, P., & Savopoulou-Soultani, M. (2012). Temperature-driven models for insect development and vital thermal requirements. *Psyche*. 13 pages.
5. Damos, P., Rigas, A., & Savopoulou-Soultani, M. (2011). Application of Markov Chains and Brownian motion models on insect ecology. *Brownian motion: theory, modelling and applications*, 71-104.
6. Davidson, J. (1944). On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperatures. *The Journal of Animal Ecology*, 26-38.
7. De Clercq, P., & Degheele, D. (1992). A meat-based diet for rearing the predatory stinkbugs *Podisus maculiventris* and *Podisus sagitta* [Het.: Pentatomidae]. *Entomophaga*, 37(1), 149-157.
8. Dent, D. (2000). *Insect pest management 2nd edition*, Chapman & Hall, London.
9. Farrar, N., Zamani, A., Moini Naghadeh, N., Azizkhani, E. & Haghani, M. (2016). Estimation of development threshold and thermal requirements of Jujube lappet moth *Streblote siva* (Lefebvre). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 13(2), 150-159.
10. Gothilf, S. (1969). A contribution to the biology of *Phanerogam flavitestacea* Fl. A parasite of *Ectomyelois ceratoniae* (Zell.). *Israel Journal of Entomology*, 4, 55-71.
11. Hartley, S., & Lester, P. J. (2003). Temperature-dependent development of the Argentine ant, *Linepithema humile* (Mayr)(Hymenoptera: Formicidae): a degree-day model with implications for range limits in New Zealand. *New Zealand Entomologist*, 26(1), 91-100.
12. Huffaker C. B. & Gutierrez, A. P. (1998). *Ecological entomology*, John Wiley, Canada, 756 pp.
13. Ikemoto, T., & Takai, K. (2000). A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology*, 29(4), 671-682.
14. Jerbi-Elayed, M., Lebdi-Grissa, K., Le Goff, G., & Hance, T. (2015). Influence of temperature on flight, walking and oviposition capacities of two aphid parasitoid species (Hymenoptera: Aphidiinae). *Journal of Insect Behavior*, 28(2), 157-166.
15. Kontodimas, D. C., Eliopoulos, P. A., Stathas, G. J., & Economou, L. P. (2004). Comparative temperature-dependent development of *Nephus includens* (Kirsch) and *Nephus bisignatus* (Boheman) (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae): evaluation of a linear and various nonlinear models using specific criteria. *Environmental Entomology*, 33(1), 1-11.
16. López, C., Sans, A., Asin, L., & EizaGuirre, M. (2001). Phenological model for *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology*, 30(1), 23-30.
17. Mediouni, J., Fuková, I., Frydrychová, R., Dhoubi, M.H. and Marec, F., 2004. Karyotype, sex chromatin and sex chromosome differentiation in the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *Caryologia*, 57(2), pp.184-194.
18. Moshtaghi Maleki, F., Iranipour, Sh., Hejazi, M. & Saber, M (2015). Forecasting the incidence of *Lobesia botrana* (Denis &Schiffermuller) (Lepidoptera:Tortricidae) in Malekan and Marand vineyards: Northwest of Iran. *Thesis for the degree of Ph.D. in Ecology and Biological control*, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.
19. Nay, J. E. (2006). Biology, ecology, and management of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller)(Lepidoptera: Pyralidae), a pest of dates, *Phoenix dactylifera* L., in southern California. University of California, Riverside.
20. Price, P. W. (1997). *Insect ecology*. John Wiley & Sons.
21. Ranjbar Aghdam, H., Ghasemi, M. & Karimpour, Y. (2020). Estimation of the low temperature threshold and thermal requirement of the established codling moth populations in West Azerbaijan, Tehran and Isfahan provinces. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 51(2), 265-274.
22. Ranjbar Aghdam, H., Yousefi Porshokouh, A., & Sedighi, L. (2015). Temperature-dependent life table parameters of *Galleria mellonella* (L.)(Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Crop Protection*, 4(5), 727-738.
23. Shakeri, M. 2003. *Pomegranate Pests and Diseases*. Tasbih Publication, Yazd, Iran. 126 pp. (In Farsi).

24. Shakeri, M., & Daneshvar, M. (2004). Conference report on the achievements and problems of management Carob, *Ectomyelois ceratoniae*. *Research Center for Agriculture and Natural Resources of Yazd, Iran*, p. 13. (In Farsi).
25. Soofbaf, M., Salehi, B., Kalantarian, N., Zanganeh, A., Babaei, M., Fathollahi, H., Ahari Mostafavi, H., Mansourifard, M., Hoseini Baghdad Abad, S., Mirvakili, S., Zare beydaki, R., Tollabi, H., Amiri Aqda, S. (2017). Using sterile insect technique against Carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lep.: Pyralidae), in Yazd province, Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, 37(1), 55-65.
26. Sun, Z. J., Chen, D., Fan, X. J., Liu, L., Cheng, Y. J., Zhang, C. H. & Liu, X. D. (2014). Antennal ultrastructure of *Aphidius gifuensis* and the effect of cold storage on antennae. *Scientia Agricultura Sinica*, 47, 4637-4647.
27. Soltani Orang, F., Ranjbar Aghdam, H., Abbasipour, H., & Askarianzadeh, A. R. (2014). Estimation of Lower Temperature Threshold and Thermal Requirements for Development of *Sesamia cretica* (Lep., Noctuidae) Using. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 3(2), 45-55.
28. Tazerouni, Z., Talebi, A. A., & Rakhshani, E. (2012). 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.
29. Terblanche, J. S., Deere, J. A., Clusella-Trullas, S., Janion, C., & Chown, S. L. (2007). Critical thermal limits depend on methodological context. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1628), 2935-2943.
30. Wagner, T. L., Wu, H. I., Sharpe, P. J., Schoolfield, R. M., & Coulson, R. N. (1984). Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America*, 77(2), 208-220.
31. Warner, R. L., Barnes, M. M. and Laird, E. F. (1990). Chemical control of a carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Lep:pyralidae), and nitidulid beetles on 'Deglet Noor' dates in California. *Journal Economic Entomology*, 83(6):2357-2361.