

استفاده از مدل‌های غیرخطی در تعیین آستانه‌های دمایی مگس میوه زیتون (*Bacterocera oleae* Rossi. (Dip:Tephritidae) در منطقه

طارم سفلی

علی محمدی‌پور^۱، غلامحسین قره‌خانی^{۱*}، حسین رنجبارآقدم^۲ و علی اکبر کیهانیان^۲

۱- گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، ۲- بخش تحقیقات حشره شناسی کشاورزی موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

محل اجرای: موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور.

Use of nonlinear models in determining the temperature thresholds of olive fruit fly *Bacterocera oleae* Rossi. (Dip:Tephritidae) in the Tarom sofia region

A. Mohammadipour¹, Gh.Gharekhanian^{1*}, H. Ranjbar Aghdam², A.K. keyhanian²

1. Department of Plant Protection Faculty of Agriculture, University of Maragheh. 55181-83111.Iran. 2. Agricultural Entomology Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

چکیده

مگس میوه زیتون (*Bacterocera oleae* (Rossi) (Dip: Tephritidae)، مهم‌ترین و اصلی‌ترین آفتی است که به درختان زیتون (*Olea europaea*، Oleaceae) حمله می‌کند و خسارت‌های اقتصادی هنگفتی به بار می‌آورد. در این مطالعه تأثیر دما بر سرعت رشد مگس زیتون در ۷ دمای ثابت، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۳۲ و ۳۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد، و دوره نوری ۱۶:۸(L:D) ساعت بررسی شد. ۲۶ مدل غیرخطی برای تعیین روند رشد و نمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف بررسی و برای تخمین آستانه‌های دمایی رشد و نمو مورد ارزیابی قرار گرفت. در بین مدل‌های غیرخطی ارزیابی‌شده، لاکتین-۲ و بریر-۲ برای تمام مراحل نابالغ با در نظر گرفتن معیارهای آماری و معنی‌داری زیستی، بهترین مدل برآزش در مشاهدات بودند. بر این اساس مقادیر آستانه پایین دمای (T_0) با استفاده از مدل بریر-۲ برای دوره تخم، دوره تخم+ لارو، دوره شفیره و دوره کل مراحل نابالغ به ترتیب ۵-۰/۰۱، ۵-۰/۱۶، ۵-۰/۷۶، ۵-۰/۱۹، ۷-۰/۶۸، ۸-۰/۶۹ درجه سلسیوس، آستانه بالای دمای (T_U) برای مراحل رشد ذکر شده به ترتیب ۴۳/۴۲-۳۲، ۳۶/۲۳-۳۲، ۳۲/۰۴-۳۶/۴۲، ۳۶/۰۳-۳۶/۴۲، ۳۴/۰۳-۳۴/۴ درجه سلسیوس، مقادیر تخمین دمای بهینه (T_{opt}) برای دوره تخم، دوره تخم+ لارو، دوره شفیره و دوره کل مراحل نابالغ به ترتیب ۳۰/۰۹-۲۷/۹۹، ۲۸/۰۴-۲۴/۴۳، ۳۰/۳۲-۲۵/۸۲، ۲۶/۸۶-۲۵/۹۴ درجه سلسیوس و در نهایت مقادیر آستانه دمای کشنده (T_i) برای مراحل رشدی ذکر شده با استفاده از مدل لاکتین-۲ به ترتیب ۴۳/۸-۴۳/۳۱، ۳۴/۵۳-۳۹/۴۴، ۴۵-۳۳/۶۷، ۴۰/۱۳-۳۷/۹۳ درجه سلسیوس برآورد شد. یافته‌های بررسی حاضر برای پیش‌بینی پویایی جمعیت مگس میوه زیتون مفید بوده و می‌تواند در تکوین استراتژی‌های مدیریت بهینه *B. oleae* مؤثر باشد.

کلمات کلیدی: نرخ رشد و نمو، مدل، غیرخطی، دما و *Bacterocera oleae*

نویسنده مسئول: a.mohammadipour@areeo.ac.ir

Abstract

Olive fruit fly *Bacterocera oleae* (Rossi) (Dip: Tephritidae), is the main and considerable damaging pest on olive trees (*Olea europaea*, Oleaceae) and causes huge economic losses. In this study, the effect of temperature on developmental rate of the Olive fruit fly was studied at 7 constant temperatures, 10, 15, 20, 24, 28, 32, and 35 °C, 60-70% RH, and a photoperiod of (L:D) 16:8h. 26 nonlinear models were evaluated to determine development rate of olive fruit flies at different temperatures and to estimate the thermal developmental thresholds. Among evaluated nonlinear models, Lactin-2 and Briere-2 were the best fitting models for all immature stages considering the statistical criteria and biological significance of the estimations. Accordingly, the lower temperature threshold values (T_0) estimated using Briere-2 model for incubation period, egg+ larval period, pupal period and the total period of immature stages, 5- 5.001, 5- 9.16, 7.19- 9.76, and 7.69- 8.68 °C respectively. In addition, the values of the upper temperature threshold (T_U) for the mentioned developmental stages estimated 32- 43.42, 32.04- 36.23, 32.03- 36.42, and 34.03- 34.4 °C, respectively. Furthermore, estimated values for the optimal temperature (T_{opt}) for the same mentioned developmental stages were 27.99- 30.09, 24.43- 28.04, 25.82- 30.32, and 25.94- 26.86 °C, respectively. Finally the values of lethal temperature threshold (T_i) for the mentioned developmental stages by using Lactin-2 model estimated as 34.31- 43.8, 37.44- 39.53, 33.67- 45, and 37.93- 40.13°C, respectively. The findings of the present study are useful for predicting the population dynamics of olive fruit flies and can be effective in developing optimal management strategies of *B. oleae*.

Keywords: *Bacterocera oleae*, developmental rate, model, nonlinear, temperature

درخت زیتون، *Olea europaea* L.، در تمام مناطق جهان با آب‌وهوای مدیترانه‌ای توسعه یافته و از جنبه‌های اقتصادی دارای اهمیت می‌باشد (Daane & Johnson 2010). در همه این مناطق، زیتون‌کاری فعالیتی با اهمیت اقتصادی، اکولوژیکی و اجتماعی است. آمار درختان زیتون در جهان حدود ۱۰۰۰ میلیون درخت تخمین زده می‌شود که مساحت ۱۰/۲ میلیون هکتار را اشغال می‌کند و بیش از ۹۱/۸۳٪ از کل مساحت مورد اشاره در حوزه مدیترانه واقع شده است (FAOSTAT, 2019). اسپانیا (با ۶۱٪ تولید) بزرگ‌ترین کشور تولید کننده روغن زیتون در جهان است و حدود ۹۶٪ از تولید روغن زیتون اتحادیه اروپا را ایتالیا و یونان تشکیل می‌دهند (FAOSTAT, 2019). محصول زیتون مورد حمله بسیاری از آفات و بیماری‌ها قرار می‌گیرد که عملکرد آنها را کاهش می‌دهد. در میان آفات زیتون، مگس میوه زیتون *Bactrocera oleae* (Rossi) (Dip:Tephritidae)، مهم‌ترین و اصلی‌ترین آفتی است که به زیتون حمله می‌کند و در سرتاسر جهان، بخصوص در کشورهای مدیترانه‌ای باعث کاهش جدی تولید زیتون می‌شود، و در بعضی از سال‌ها به دلیل شرایط مناسب آب و هوایی خسارت اقتصادی بالایی روی زیتون به وجود می‌آورد (Boccaccio & Petacchi, 2009; Daane & Johnson, 2010).

مطالعه واکنش حشرات به دما دارای سابقه‌ای طولانی در علم است که از رئومور (Reaumur) در قرن ۱۸ بر روی شب‌پره‌ها آغاز شد. در سال ۱۹۳۲ جانیش (Janisch) اشاره کرد "واکنش حشرات به دما یکی از مهم‌ترین موارد حشره‌شناسی است که در آینده نیز بیشتر خواهد شد." تقریباً ۹۰ سال پس‌ازاین مقاله، با توجه به علاقه مداوم جامعه علمی برای مطالعه واکنش حشرات به دما، به‌ویژه در زمینه تغییرات آب و هوایی، پیش‌بینی وی هنوز درست است. اما لازم است این اطلاعات تکمیل شود تا تولیدکنندگان ابزاری مطمئن با دقتی معقول برای تعیین در زمان شروع و خاتمه سم‌پاشی‌ها بر علیه آفات داشته باشند (Rebaudo and Rabhi, 2019). بنابراین پیش‌آگاهی زمان فعالیت حشرات در تعیین زمان مبارزه شیمیایی نقش بسیار مهم دارد (Roy et al., 2002). از بین عوامل محیطی تأثیر حرارت در زنده‌مانی و نرخ رشدونمو حشرات از همه مهم‌تر است (Jervis & Copland 1996; Campbell et al., 1974; Logan et al., 1976; Gilbert & Raworth, 1996). هر گونه حشره دارای یک محدوده دمایی بهینه برای رشدونمو است که توسط آستانه‌های پایین (T_0) و بالایی (T_U) دمای محدود شده است. در پایین‌تر و بالاتر از این محدوده دما، رشدونمو رخ نمی‌دهد (Ricalde et al., 2011). حشرات در محدوده بین T_U و T_0 ، می‌توانند رشد کنند. با این حال، نیازهای دمایی یک گونه با مرحله رشد و منشأ جغرافیایی متغیر می‌باشد (Honék & Kocourek, 1990; Ricalde et al., 2011). علاوه بر این آستانه دمای رشدونمو بین گونه‌های مختلف حشرات نیز متفاوت است و حتی جمعیت‌های مختلف یک

گونه نیز به دلیل اینکه به شرایط آب و هوایی متفاوتی سازگار شده‌اند، دارای آستانه‌های دمایی مختلفی برای رشدونمو می‌باشد (Casey, 1992). اطلاعات مربوط به نیازهای دمایی گروه‌های حشرات، زیر بنای درک و پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گروه‌های مختلف حشرات را تشکیل می‌دهد (Kehlenbeck et al., 2012; Sutherst, 2014). مدل‌های ریاضی ابزار قدرتمندی برای توصیف و پیش‌بینی تأثیر دما بر رشد حشرات و رشد جمعیت هستند. در حال حاضر، این مدل‌ها معمولاً برای تخمین رشد آفات و دشمنان طبیعی استفاده می‌شوند (Pakyari et al., 2011; Shi et al., 2016, 2017). برای این منظور از تعداد زیادی مدل خطی و غیرخطی برای توصیف رابطه بین سرعت رشد حشرات و دما استفاده شده است (Worner, 2008). در مگس‌های میوه تفریتید مانند سایر جانوران خونسرد دما مهم‌ترین عامل محیطی تعیین کننده رشد و زنده‌مانی آنها است (Fletcher, 1989). اثرات دما بر رشد و زنده‌مانی مرحله خاص نشان داده است که دما هر دو کمیت و کیفیت مگس‌های میوه تفریتید را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vargas et al., 1996; Vargas et al., 1997; Brévault & Quilici 2000; Vargas et al., 2000; Duyck & Quilici 2000; Liu & Ye 2009; Salum et al., 2013). گونه‌های مختلف تفریتید نیز همانند سایر حشرات دامنه دمایی بهینه ویژه‌ای برای تکامل دارند که با آستانه‌های پایین و بالا دمایی محدود می‌شوند که می‌تواند هم با مرحله رشد و هم با منشأ جغرافیایی متفاوت باشد (Honék & Kocourek 1990). اولین ظهور مگس، شروع تخم‌گذاری و تفریح تخم از مهم‌ترین وقایع به دلیل اهمیت آنها در فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت مگس‌های میوه است. وقایع دیگر مانند ظهور لاروها و شفیره شدن اگرچه در تصمیمات کنترل مگس‌های میوه مهم نیستند، با این حال، اهمیت بیولوژیکی این حوادث را نمی‌توان نادیده گرفت. تعیین آستانه پایین دمایی برخی از گونه‌های مگس‌های میوه توسط برخی از محققین در جهان انجام شده است. تأثیر دماهای ثابت (بین ۱۲/۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس) روی رشد لارو و شفیره‌های مگس زیتون نشان داد که دوره لاروی در دماهای اشاره شده بین ۹/۲ تا ۳۷/۱ روز و دوره شفیرگی بین ۹/۳ تا ۴۸/۶ روز بوده است. همچنین مجموع گرمای مؤثر برای دوره لاروی، شفیرگی و حشره کامل به ترتیب ۱۸۶/۱۸۶،۷/۳ و ۴۱۴/۵ روز-درجه سلسیوس محاسبه شده است (Tsitsipis, 1980). به‌عنوان مثال علی‌نیزی (AliNiizee, 1979) یک مدل فنولوژی بر اساس یک رابطه دما و زمان برای مگس میوه گیلاس غربی، (*Rhagoletis indifferens* Curran (Diptera: Tephritidae) ایجاد کرد. چند سال بعد مدل فنولوژی برای پیش‌بینی مگس میوه گیلاس غربی در کلمبیا بررسی شد. این مدل همچنین توانایی شبیه‌سازی تأثیر اقدامات کنترل بر جمعیت این آفت را دارا بود (Song et al., 2003). مقایسه‌ای رشدونمو و زنده ماندن دو جمعیت مگس میوه *Ceratitidis rosa* Karsch که از نظر جغرافیایی مختلف از دو کشور کنیا و آفریقای جنوبی با *C. rosa* R1

و *C. rosa* R2 از هر کشور مشخص شده بود، در هفت دمای ثابت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۳، ۳۵ درجه سلسیوس) نشان داد که دامنه دما برای رشد و زنده‌مانی هر دو جمعیت ۱۵-۳۵ درجه سلسیوس است. نتایج حاصل از مدل‌های دمایی نشان داد که *C. rosa* R2 (تخم، لارو و شفیره) از هر دو کشور به علت آستانه رشد کمتر با دمای پایین نسبت به R1 سازگارتر بوده است. نتایج نشان داد که *C. rosa* R1 و *C. rosa* R2 از هر دو کشور از نظر فیزیولوژیکی در پاسخ به رژیم‌های مختلف دما متمایز بودند و وجود دو جمعیت متمایز از نظر ژنتیکی *C. rosa* را اثبات کرد (Tanga et al., 2015). رشدونمو و زنده‌مانی مراحل نابالغ، *Bactrocera invadens* Drew, Tsuruta and White (Dipt.: Tephritidae) یک آفت مگس میوه مهاجم جدید در آفریقا، در آزمایشگاه در پنج دمای ثابت ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل خطی برای نرخ رشدونمو مراحل نابالغ در دما مناسب و قابل اطمینان می‌باشد. آستانه پایین دمای که از رگرسیون معادلات خطی برای مراحل تخم، لارو و شفیرگی به ترتیب ۸/۸، ۹/۴ و ۸/۷ درجه سلسیوس تخمین زده شد. نیاز گرمایی (DD) برای رشد از تخم تا خروج حشرات کامل ۳۷۶ DD تخمین زده شد (Rwomushana et al., 2008). رشد و زنده‌مانی مراحل نابالغ مگس میوه کارامبولا، *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock و مگس میوه پاپایای آسیا، *Bactrocera papayae* Drew & Hancock نشان داد که یک رابطه خطی قوی و مثبت بین دما و سرعت رشد مراحل نابالغ *B. carambolae* و *B. papayae* وجود دارد و نیاز گرمایی برای تکمیل مراحل تخم، لارو، شفیره و کل مرحله نابالغ به ترتیب ۲۵/۱، ۱۶۱/۹، ۱۸۴/۳ و ۳۷۱/۴ روز-درجه مشاهده شد. همچنین مشخص شد که *B. carambolae* در مقایسه با *B. papayae* دارای مقادیر T_0 کمتر و در نتیجه مقادیر DD بالاتر است (Danjuma et al., 2014). بررسی زنده‌مانی و رشدونمو مراحل نابالغ *B. oleae* در شرایط آزمایشگاه نشان داد که کوتاه‌ترین دوره جنینی تخم در دمای ۳۵ درجه سلسیوس اتفاق افتاد ولی در این دما مرحله شفیرگی هیچ رشدونموی نداشت و در نهایت کمترین دما برای رشدونمو مرحله تخم به دست آمد و دمای مناسب برای مراحل نابالغ مگس میوه زیتون ۲۷ درجه سلسیوس تخمین زده شد (Genç & Nation, 2008). همچنین نیاز گرمایی برای شروع فعالیت نسل دوم *B. oleae* ۱۸۳۷/۲۰ و برای اوج نسل دوم ۲۰۴۵/۸۷ روز-درجه سلسیوس محاسبه شد (Goncalves & Torres, 2011). تأثیر دماهای مختلف روی رشدونمو و تولیدمثل *Bactrocera zonata* (Saund) نشان داد که بیشترین و کمترین تفریح تخم به ترتیب در دما ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس و بیشترین و کمترین خروج حشره کامل از شفیره به ترتیب در دمای ۳۰ و ۲۰ درجه سلسیوس به دست آمد (Younes & Akel, 2010).

تعیین عوامل مؤثر در رشد حشرات آفت و کاربرد این عوامل در مدل‌های پیش‌آگاهی، مناسب‌ترین زمان اعمال روش - های کنترل و افزایش موفقیت در برنامه‌های مدیریت آفت را امکان‌پذیر می‌کند (Ranjbar Aghdam et al., 2009b). مدل‌های مبتنی بر دما می‌توانند زمان نمونه‌برداری و کاربرد حشره‌کش را تعیین کنند. با توجه به اهمیت محصول زیتون در ایران و خسارت زیاد مگس میوه زیتون، لزوم کنترل این آفت با استفاده از اقدامات مدیریتی صحیح، امری ضروری است و از طرفی کنترل مگس میوه زیتون بدون داشتن اطلاعات دقیق از ظهور مگس میوه زیتون و نوسانات جمعیت آن امکان‌پذیر نیست. تردیدی نیست که یک برنامه مدیریت مگس میوه مبتنی بر فنولوژی آفات همراه با نظارت شدید جایگزین مناسبی برای روش فعلی سمپاشی تقویمی خواهد بود که باعث کاهش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست‌محیطی خواهد شد. بنابراین در مطالعه حاضر تأثیر دما بر سرعت رشد مگس زیتون در ۷ دمای ثابت با استفاده از ۲۶ مدل غیرخطی برای تعیین روند رشد و نمو مگس میوه زیتون و تخمین آستانه‌های دمایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی

سه باغ زیتون از منطقه طارم استان قزوین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۴ دقیقه از نصف‌النهار گرینویچ و عرض شمال ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه از خط استوا که از نظر ارتفاع متفاوت بودند و نیز در آنها هر سال آلودگی وجود داشت انتخاب شدند. این مناطق عبارت از منطقه سیاهپوش با مشخصات جغرافیایی طول $36^{\circ}36'11''$ ، عرض $36^{\circ}36'37''$ و ارتفاع ۳۲۶ متر از سطح دریا، منطقه قوشچی با مشخصات جغرافیایی عرض $36^{\circ}36'50''$ ، طول $49^{\circ}32'25''$ و ارتفاع ۵۵۴ متر از سطح دریا و منطقه کلج با مشخصات جغرافیایی عرض $36^{\circ}36'11''$ ، طول $49^{\circ}26'44''$ و ارتفاع ۴۲۱ متر از سطح دریا بودند. میوه‌های سالم زیتون که عموماً رقم زرد بودند از اول فصل به صورت هفتگی تا شروع آلودگی از سه منطقه سیاهپوش، قوشچی و کلج استان قزوین جمع‌آوری شدند و در یخچال در دمای پنج درجه سلسیوس نگهداری گردیدند. برای تشکیل کلنی میوه‌های آلوده به لارو مگس میوه زیتون بر اساس منطقه مورد نظر به‌طور هفتگی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. میوه‌های آلوده جمع‌آوری‌شده در اتاق پرورش در شرایط دمایی 26 ± 1 درجه سلسیوس با رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی) قرار داده شد (Goncalves & Torres, 2011) تا پس از تکمیل دوره لاروی و شفیرگی، حشرات کامل خارج شوند. برای تغذیه حشرات کامل از محلول ۱۰ درصد آب عسل، آب، همچنین پروتئین هیدرولیزات پنج درصد و از شکر، مخمر و زرده تخم‌مرغ به نسبت ۸: ۲: ۰/۶ استفاده شد (Goncalves & Torres, 2011).

تأثیر دما بر نرخ رشدونمو مگس میوه زیتون *B. oleae* و استفاده از مدل‌های ریاضی برای توصیف آن

در این پژوهش، روند رشدونمو مگس میوه زیتون در ۷ دمای مورد بررسی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۳۲ و $35 \pm$ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی $10 \pm 70\%$ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی) در اتاقک رشد مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از مدت ۷ روز برای تخم‌گیری از حشرات کامل، از پتری‌های آگار سبز رنگ به همراه یک میوه سالم استفاده شد و بعد از ۶-۵ ساعت، پتری‌ها برداشته شد و زیر بینوکولر تخم‌های گذاشته شده داخل آگار با سوزن اتاله شماره سه صفر خارج شده و به وسیله قلم مو با شماره سه صفر به پتری دارای یک کاغذ صافی مرطوب با آب مقطر گذاشته شد و در نهایت درب پتری با پارافیلیم بسته شد و هر روز تخم‌ها در زیر بینوکولر بررسی شده و تعداد لاروهای خارج شده ثبت و حذف شدند. جهت بررسی دوره مرحله نابالغ تعداد ۱۰۰-۸۰ عدد میوه سالم در اختیار جمعیت‌های هر منطقه قرار گرفت و ۶-۵ ساعت بعد میوه‌ها برداشته شده و به ظروف استوانه‌ای شکل به ابعاد 10×5 سانتی‌متر که درب آنها با توری چسبانده شده بود منتقل شدند. این میوه‌ها در دماهای مورد نظر به ترتیب از دمای پایین (۱۰ درجه سلسیوس) تا دماهای بالا منتقل و نگهداری شد و هر روز وضعیت میوه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا زمان خروج لارو سن آخر، زمان شفیرگی و زمان خروج حشرات کامل را بتوان به دست آورد.

جهت بررسی تأثیر دماهای مختلف بر طول دوره رشدی هر یک از مراحل یاد شده داده‌های به دست آمده با تجزیه واریانس یک-سویه One-way ANOVA تجزیه و تحلیل شد. به منظور مقایسه میانگین طول دوره رشدونمو در دماهای مورد بررسی از آزمون توکی استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد.

تأثیر دما بر نرخ رشدونمو مگس میوه زیتون *B. oleae* و استفاده از مدل‌های ریاضی برای توصیف آن

به منظور توصیف رشدونمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف و تعیین شاخص‌های دمایی از ۲۶ مدل ریاضی غیرخطی استفاده شد. از آنجائیکه رشدونمو بندپایان یک فرآیند غیرخطی است، به همین دلیل استفاده از مدل‌های غیرخطی برای توصیف آنها مناسب است (Karimi-Malati et al., 2014). از این رو برای تخمین دماهای حیاتی به کارگیری تعدادی از مدل‌های غیرخطی ضروری است (Briere et al., 1999; Golizadeh et al., 2008; Ranjbar Aghdam et al., 2009a; Pakyari et al., 2011b). بر این اساس برای توصیف رشدونمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف در پژوهش حاضر ۲۶ مدل غیرخطی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱-).

تجزیه و تحلیل آماری نتایج

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده برای توصیف رشدونمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف و تعیین پارامترهای دمایی رشدونمو از مدل‌های ریاضی غیرخطی از نرم‌افزارهای ATM (Mirhosseini et al., 2017) و برای رسم نمودارها از 2010 Excel استفاده شد. به این منظور اول بر اساس نتایج طول دوره رشدونمو مراحل زیستی، نرخ رشدونمو هر یک از مراحل رشدی مگس میوه زیتون در هر دما با معکوس نمودن مقادیر طول دوره رشدونمو تعیین شد. هر یک از مدل‌های ریاضی مورد بررسی در توصیف رشدونمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف قادر هستند تعدادی از شاخص‌های دمایی رشدونمو را تعیین کنند. مدل‌های مختلف غیرخطی متداول و مورد استفاده در توصیف روند رشدونمو وابسته به دما برای حشرات بر اساس شاخص‌های آماری تعیین‌کننده میزان برآزش داده‌ها روی مدل مثل ضریب تبیین (R^2) ضریب تبیین اصلاح‌شده (R^2_{adj})، مجموع مربعات باقیمانده‌ها (SSE) و معیار اطلاعات آکائیکه (AIC) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت و در نهایت برای رتبه بندی مدل‌ها جهت تعیین مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده روند تغییرات پارامتر هدف (نرخ رشدونمو) در دماهای مختلف، از رابطه رتبه‌بندی (Rank) استفاده شد. که در این رابطه از معیار آماری AIC استفاده شد و در آن تفاوت بین دقیق‌ترین مدل که دارای کوچک‌ترین مقدار AIC (AIC_{min}) از مدل i ام است که می‌تواند با استفاده از معادله زیر محاسبه شود:

$$\Delta = AIC_i - AIC_{min}$$

با توجه به عدد حاصل‌شده برای پارامتر دلتا، مدل‌های با دلتای کمتر از ۷ قابل قبول خواهند بود (Burnham et al., 2011; Mirhosseini et al., 2018). در پایان با استفاده از این شاخص‌های آماری بهترین مدل یا مدل‌های توصیف‌کننده روند تغییرات پارامتر هدف (نرخ رشدونمو) در دماهای مختلف مشخص شد. از سوی دیگر از معیار ارائه شده توسط مدل نیز در انتخاب مناسب‌ترین مدل استفاده شد و در نهایت بهترین مدل یا مدل‌های انتخاب شده برای تخمین شاخص‌های مهم دمایی رشدونمو مگس میوه زیتون استفاده شد.

نتایج و بحث

رشدونمو تابع دمای مگس میوه زیتون *Bacterocera oleae*

از آنجا که با استفاده از مدل‌های خطی امکان محاسبه دمای اپتیمم و آستانه بالایی وجود ندارد تعدادی از مدل‌های غیرخطی برای محاسبه این دماهای بحرانی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ranjbar Aghdam *et al.*, 2009a, Pakyari *et al.*, 2011, Golizadeh *et al.*, 2008). از طرفی مدل‌های غیرخطی نسبت به مدل‌های خطی قادرند در گستره‌ی دمایی وسیع‌تری روند طول دوره‌ی رشدونمو مراحل زیستی جنینی (تخم)، تخم+ لاروی، شفیرگی و کل دوره‌ی رشدونمو نابالغ مگس میوه زیتون را به نحو واقعی-تری پیش‌بینی کنند. با استفاده از رابطه Rank، در منطقه سیاهپوش، قوشچی و کلج از ۲۶ مدل آنالیز شده در مراحل مختلف تخم، تخم+ لارو، شفیره و برای کل مرحله نابالغ رتبه‌بندی صورت گرفت (جدول ۲). همچنین در مناطق اشاره شده بر اساس نتایج اولیه حاصل از برازش مدل‌ها مناسب‌ترین مدل‌ها گزینش شد (جدول ۲).

جدول ۲-

علاوه بر این، مقادیر پارامترهای مدل‌های قابل قبول برای هر مرحله رشدونمو مگس میوه زیتون در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است. با توجه به میزان برازش مدل با استفاده از شاخص‌های آماری اشاره شده و مقادیر پارامترهای مدل‌ها، مدل یا مدل‌هایی انتخاب شدند که بتواند هم شاخص‌های مهم دمایی T_0 ، T_U و T_{opt} را برای تخمین رشدونمو مگس میوه زیتون ارائه دهند و هم مقادیر پیش‌بینی شده آن‌ها، نزدیک‌تر به مقادیر به‌دست آمده در مطالعات آزمایشگاهی (Mohammadipour *et al.*, 2021)، برای پیش‌بینی رشدونمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف باشند که مدل لاکتین-۲، بریر-۱ و بریر-۲ در بین سه منطقه مشترک بودند. از آنجائیکه لاکتین-۲ شاخص‌های دمایی T_0 ، T_U و T_{opt} را برآورد نکرده و به طور غیرمستقیم برآورد شده بود، لذا این مدل کنار گذاشته شد و دو مدل بریر-۱ و بریر-۲ مدل‌های منتخب و مناسبی بودند و چون مدل بریر-۲ از نظر تعداد پارامترهای آماری از مدل بریر-۱ کامل‌تر بود، لذا این مدل انتخاب شد. بر این اساس در منطقه سیاهپوش برای تخم، تخم+ لارو، شفیره و کل مراحل نابالغ به ترتیب آستانه پایین دمای (T_0) ۵، ۵، ۹/۷۶ و ۷/۶۹ درجه سلسیوس، آستانه بالای دمای (T_U) ۴۳/۴۲، ۳۶/۲۳، ۳۲/۰۳ و ۳۴/۴ و شاخص دمایی (T_{opt}) ۳۰/۰۹، ۲۸/۰۴، ۲۵/۸۲ و ۲۶/۸۶ توسط مدل بریر-۲ برآورد شد. البته با استفاده از مدل لاکتین-۲ می‌توان شاخص دمایی کشنده (T_i) را نیز برآورد کرد که برای منطقه سیاهپوش به ترتیب ۴۳/۸، ۳۸/۳۸، ۳۳/۶۷ و ۳۹/۲۱ به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳-

در منطقه قوشچی برای تخم، تخم+ لارو، شفیره و کل مراحل نابالغ به ترتیب آستانه پایین دمای (T_0) ۵/۰۰۱، ۵/۰۰۱، ۷/۳۸ و ۷/۷۴ درجه سلسیوس، آستانه بالای دمای (T_U) ۳۲، ۳۳/۶، ۳۶/۴۲ و ۳۴/۰۳ درجه سلسیوس و شاخص دمایی (T_{opt}) ۲۷/۹۹، ۲۶/۵۴، ۳۰/۳۲ و ۲۶/۷۴ درجه سلسیوس توسط مدل بریر-۲، همچنین شاخص دمایی کشنده (T_i) ۳۹/۶، ۳۹/۵۳، ۳۴/۳۱ و ۳۷/۹۳ درجه سلسیوس توسط مدل لاکتین-۲ برآورد شد (جدول ۴).

جدول ۴-

در منطقه کلج برای تخم، تخم+ لارو، شفیره و کل مراحل نابالغ به ترتیب آستانه پایین دمای (T_0) ۵، ۹/۱۶، ۷/۱۹ و ۸/۶۸ درجه سلسیوس، آستانه بالای دمای (T_U) ۳۲/۹۳، ۳۲/۰۴، ۳۶/۳۳ و ۳۴/۲۹ درجه سلسیوس و شاخص دمایی (T_{opt}) ۲۹/۵۴، ۲۴/۴۳، ۲۹/۰۷ و ۲۵/۹۴ درجه سلسیوس توسط مدل بریر-۲، و شاخص دمایی کشنده (T_i) که به ترتیب ۳۶/۳۴، ۳۷/۴۴، ۴۵ و ۴۰/۱۳ درجه سلسیوس توسط مدل لاکتین-۲ برآورد شد (جدول ۵).

جدول ۵-

AIC بهترین معیار آماری برای اعتبارسنجی مدل‌ها می‌باشد (Akaike 1974) و در بسیاری از مطالعات مرتبط برای رتبه‌بندی مدل‌ها استفاده شده است (Ranjbar Aghdam et al., 2009b, Zahiri et al., 2010, Pakyari et al., 2011; Mirhosseini et al., 2017) و به عنوان یک شاخص سنجش و انتخاب مدل مناسب، میزان اطلاعاتی که توسط مدل از دست می‌رود را اندازه‌گیری می‌کند. به این ترتیب *AIC* تعادلی بین تعداد پارامترهای مدل (پیچیدگی مدل) و میزان برازش مدل روی داده‌ها ارائه می‌کند. با در نظر گرفتن این موضوع می‌توان گفت مدلی که توسط *AIC* مدل مناسب تشخیص داده شود مدلی است که نه دارای "بیش‌برازش" (*Overfitting*) می‌باشد و نه از "کم‌برازش" (*Underfitting*) رنج می‌برد و می‌توان آن را مدلی با برازش مناسب در نظر گرفت. با این وجود نتایج بررسی حاضر نشان داد که این معیار از نقطه نظر بیولوژیکی چندان قابل اعتماد نیست. برای روشن شدن این اختلاف، مدل بتا در توصیف نرخ رشدونمو وابسته به دما در تمام مراحل رشدی مگس میوه زیتون در رتبه کمتر از ۱۰ قرار داشت (جدول ۳ تا ۵)، در حالی که در منطقه سیاهپوش مدل آستانه دمای پایین را برای مراحل تخم، تخم+ لارو، شفیره و کل مرحله نابالغ به ترتیب ۵/۳، ۴۳/۱۸، ۱۱/۶- و ۰/۸۳ درجه سلسیوس، در منطقه قوشچی ۹۵۸/۷-، ۵۲/۳۱-، ۱/۹۷ و ۱۵/۱۲- درجه سلسیوس و در منطقه کلج نیز ۶۰/۰۴-، ۲/۵۸، ۷/۲۴ و ۶/۲۴ درجه سلسیوس تخمین می‌زند. به طور مشابه، آستانه پایین دمای برای توصیف رشدونمو تمام مراحل زیستی مگس میوه زیتون در مدل‌های Hilbert and Logan و Analytis-1

تخمین زده شد در حالیکه این تخمین‌ها نمی‌توانند از نظر بیولوژیکی و تجربی معتبر باشند. از طرفی دیگر مدل‌های Performance-1 و Performance-2 در این مطالعه رتبه خوبی نداشتند اما از نظر مطالعات آزمایشگاهی (Mohammadipour et al., 2021) و برآورد دماهای حیاتی مدل‌های خوبی برای توصیف رشدونمو تمام مراحل زیستی مگس میوه زیتون بودند. این اختلاف‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر اعتبار سنجی آماری، اعتبار بیولوژیکی در آزمایشگاه و مزرعه برای انتخاب بهترین مدل برای توصیف نرخ رشدونمو هرگونه به عنوان تابعی از دما مورد نیاز است. در *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett)، *B. dorsalis* (Hendel) و *B. oleae*، دمای مطلوب برای رشدونمو بین ۲۶ تا ۳۰ درجه سلسیوس گزارش شده است. (Messenger and Flitters 1958; Tsitsipis, 1980). با این حال، اثر مخرب و برگشت ناپذیر دمای ۳۵ درجه سلسیوس بر رشدونمو ممکن است به مدت زمان تماس بستگی داشته باشد. در واقع، شرایط دمای بالا برای مدت زمان طولانی در طی یک روز مشخص اتفاق نمی‌افتد. در واقع، تمام مراحل زیستی مگس میوه (تخم و لارو موجود در میوه‌ها و شفیره در خاک زیر سایبان درختان) از شدت دما محافظت می‌شود (Fletcher, 1989). بنابراین، کاربرد این یافته‌ها در شرایط مزرعه باید با احتیاط انجام شود (Ekesi et al., 2006). با توجه به گسترش گونه‌های این جنس در شرایط مختلف آب و هوایی از مناطق گرمسیری تا نیمه گرمسیری این شاخص‌های دمایی نیز با توجه به شرایط زیستی هرگونه متفاوت است. به‌عنوان مثال برای *B. invadens* دماهای ۸/۸، ۹/۴ و ۸/۷ درجه سلسیوس به ترتیب برای تخم، لارو و شفیره گزارش شده است (Rwomushana et al., 2008). همچنین در *Bactrocera zonata* (Saund.) آستانه رشدونمو تخم، لارو و شفیره به ترتیب ۱۲/۷، ۱۲/۶ و ۱۲/۸ درجه سلسیوس تخمین زده شده است (Duyck et al., 2004). Vargas و همکاران (۱۹۹۶) آستانه پایین دمای را برای *B. dorsalis* برای تخم، لارو و شفیره به ترتیب ۱۱/۸، ۶/۵ و ۹/۳ درجه سلسیوس تخمین زده‌اند. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، طول دوره رشدونمو مگس میوه زیتون در تمام مراحل نابالغ، تحت تأثیر دما قرار دارد. بر اساس بررسی‌های Tsitsipis, 1977 طول دوره جنینی تخم *B. oleae* از ۲۰ روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا سه روز در دمای ۳۲/۵ درجه سلسیوس متفاوت بوده و سریع‌ترین زمان رشدونمو تخم‌ها بین دمای ۲۷/۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس گزارش شده است. پژوهشگران دیگر دمای مناسب رشدونمو تخم *B. oleae* را ۲۷/۵ درجه سلسیوس و آستانه پایین دمای بین شش تا ده درجه سلسیوس به‌دست‌آمده آورده‌اند (Tsiropoulos, 1972; Tsitsipis, 1977; Fletcher and Kapatou, 1983); گزارش شده است (Tsiropoulos, 1972; Tsitsipis, 1977). در بررسی حاضر طول دوره تخم+لارو با افزایش دما به تدریج کاهش یافت. آستانه پایین دمای برای رشدونمو تخم+لارو، بین ۵ تا ۹/۱۶ درجه سلسیوس، آستانه بالا دمای بین ۳۲/۰۴ تا

۳۶/۲۳ درجه سلسیوس به دست آمد و همین روند برای نرخ دوره شفیرگی نیز مشاهده شد. آستانه پایین دمای بین ۷/۱۹ تا ۹/۷۶ درجه سلسیوس، آستانه بالا دمای بین ۳۲/۰۲ تا ۳۶/۴۲ درجه سلسیوس به دست آمد و مراحل نابالغ *B. oleae* با موفقیت در محدوده دما بین ۲۰ تا ۲۸ درجه سلسیوس رشدونمو یافت. می توان نتیجه گرفت که بین دما و سرعت رشدونمو تخم، مراحل تخم+ لارو، شفیرگی و کل مرحله نابالغ *B. oleae* رابطه مثبتی وجود دارد. بر اساس نتایج Tsitsipis, 1980 طول دوره رشدونمو لاروها *B. oleae* بین ۳۷/۱ روز در دمای ۱۲/۵ درجه سلسیوس و ۹/۲ روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس متفاوت است و دمای اپتیمم برای رشدونمو شفیرهها *B. oleae* بین ۲۲/۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس گزارش کرده است. بعلاوه آستانه پایین دمای برای رشدونمو شفیره ۱۰-۶ درجه سلسیوس بوده (Tsitsipis, 1980, Fletcher and Kapatatos, 1983) و آستانه بالا دمای بین ۳۱ و ۳۶ درجه سلسیوس می باشد اگرچه در دمای ۳۲/۲ درجه سلسیوس اثرات مخرب در رشدونمو شفیرهها دیده شده است (Neuenschwander *et al.*, 1986). همچنین بیشترین درصد شفیره شدن و دوره لاروی را در دمای ۲۵ و ۲۷/۵ درجه سلسیوس اما بیشترین درصد خروج حشرات را در دمای ۲۲/۵ و ۲۵ درجه سلسیوس گزارش کرده است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که دمای ۳۲ درجه سلسیوس هیچ لاروی به شفیره تبدیل نمی شود. همچنین آستانه پایین دمای برای تخم، لارو و شفیره مگس میوه زیتون به ترتیب ۹/۱۹، ۱۳/۹۴ و ۱۲/۳۶ درجه سلسیوس و دمای مطلوب برای رشد و زندهمانی مراحل نابالغ مگس میوه زیتون ۲۷ درجه سلسیوس به دست آمده است (Genç & Nation, 2008). که این مقادیر در مقایسه با یافته های پژوهش حاضر و نتایج دیگر محققین مقداری بیشتر گزارش شده است. از آنجائیکه در بین جمعیت های مختلف جغرافیایی یک گونه شاخص های دمایی متفاوت می باشد (Honék & Kocourek 1990; Tanga *et al.*, 2015) و همچنین رژیم های غذایی مختلف لارو بر میزان رشد تأثیر متفاوتی دارند که می تواند دلیل این اختلاف بین مطالعات مختلف باشد. مدل های دیگری هم توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است به عنوان نمونه به مواردی اشاره می شود. Tsitsipis, 1980 معادله لجستیک را جهت بیان مجموع گرمای مؤثر برای رشدونمو مراحل لارو، شفیرگی و مرحله کل (از تخم تا حشره کامل) *B. oleae* مناسب گزارش کرد. Liu & Ye (2009) دمای بالای کشنده برای تخم، لارو و شفیره ۴۲/۵۶، ۴۲/۳۹ و ۴۳/۷۵ درجه سلسیوس توسط مدل Briere تخمین زده اند. نرخ رشد تخم، لارو، شفیره و تخم تا شفیرگی *B. dorsalis* با دو تابع غیرخطی، performance و Sharpe-Schoolfield-Ikemoto (SSI) برآورد شد و آستانه پایین و بالا دمای با استفاده از مدل Sharpe-Schoolfield-Ikemoto جهت مرحله کامل نابالغ *B. dorsalis* به ترتیب ۱۳/۸ درجه سلسیوس و ۳۴/۲ درجه سلسیوس برآورد شد (Samayoa *et al.*, 2018). واکنش دمایی مراحل نابالغ (تخم، لارو و شفیره) *B. zonata* به خوبی با مدل Janish-1 مطابقت داشت. نرخ رشدونمو

برای تمام مراحل نابالغ تا ۳۱-۳۲ درجه سلسیوس به طور ثابت افزایش می‌یابد و سپس شروع به کاهش می‌کند که مطلوب‌ترین دما برای توسعه *B. zonata* بین ۲۵ تا ۲۸ درجه سلسیوس گزارش شده است (Choudhary et al., 2020). مدل Briere-2 و نیز شاخص‌های دمایی از یافته‌های پژوهش حاضر با مدل‌های پیشنهادی برای جنس *Bactrocera* مطابقت داشت. تفاوت مشاهده شده ممکن است مربوط به تفاوت شرایط تجربی مانند فواصل آزمایش، شرایط پرورش لاروها، تغذیه بالغین، شدت نور، سن حشرات کشت اولیه، نژاد جمعیت، پیری بالغ و حتی تراکم بالغ در قفس‌های پرورش، اندازه‌گیری دما و منشأ جمعیت‌ها باشد (Fernandes-Da-Silva & Zucoloto, 1993; Vargas et al., 1996; Mohamed 2000; Duyck & Quilici, 2002; Duyck et al., 2004; Vargas et al., 2000; Chang et al., 2004; Duyck et al., 2004; Ahmed et al., 2007; Rwomushana et al., 2008; Fetoh et al., 2012; Shinwari et al., 2015) در مطالعه حاضر، شاخص‌های وابسته به دما *B. oleae* با استفاده از مدل‌های گرمایی توصیف شد. از بین مدل‌های مورد استفاده با استفاده از معیارهای آماری مدل‌ها ارزیابی و سپس با استفاده از معیارهای زیستی مدل نهایی بریر-۲ به‌عنوان بهترین مدل انتخاب گردید و بر این اساس مقادیر آستانه پایین دمای (T_0) با استفاده از مدل بریر-۲ برای دوره تخم، دوره تخم+ لارو، دوره شفیره و دوره کل مراحل نابالغ و آستانه بالای دمای (T_U) برای مراحل زیستی ذکر شده محاسبه و همچنین مقادیر دمای بهینه (T_{opt}) برای این مراحل برآورد شد. طبق نتایج این مطالعه، دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس برای رشدونمو تخم، لارو و شفیره مناسب می‌باشد.

سپاسگزاری:

این پژوهش با حمایت مالی و پژوهشی دانشگاه مراغه و موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور در قالب پایانه نامه دکتری اجرا شده است. بر این اساس نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاس و تشکر خود را از دانشگاه مراغه بخصوص گروه گیاه‌پزشکی، بخش حشره‌شناسی آن و موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، بخش تحقیقات حشره‌شناسی اعلام نمایند.

References

- AHMED, A. A., EL-DIN, S., EL-DIN, E., EL-SHAZLY, A., and A. F. MARWA. 2007. Contribution to the effect of temperature on some biological aspects of the peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera: Tephritidae) reared on artificial diet. Bulletin of Entomological Society of Egypt, No, 84: 121– 134.
- ALINIAZEE, M. T. 1976. Thermal unit requirements for determining adult emergence of the western cherry fruit fly in the Willamette Valley of Oregon. Environmental Entomology, No, 5: 397- 402.
- BOCCACCIO, L. and R. PETACCHI. 2009. Landscape effects on the complex of *Bactrocera oleae* parasitoids and implications for conservation biological control. Biological Control, No, 54: 607– 616
- BRE'VAULT, T. and S. QUILICI. 2000. Relationships between temperature, development and survival of different life stages of the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. No, 94: 25– 30.
- BRIERE, J. F., P. PRACROS, A. Y. LEROUX, and J. S. PIERRE. 1999. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. Environmental Entomology. No. 28: 22– 29.
- BURNHAM, K. P., D. R. ANDERSON, and K. P. HUYVAERT. 2011. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. Behavioral Ecology and Sociobiology. No, 65: 23– 35.
- CAMPBELL, A., B. D. FRAZER, N. GILBERT, A. P. GUTIERREZ, and M. MAKAUER. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. Journal of Applied Ecology. No, 11: 431- 438.
- CASEY, T. M. 1992. Biophysical ecology and heat exchange in insect. American Zoologist, No, 32: 225- 237.
- CHANG, C. L., C. CACERES, and E. B. JANG. 2004. A novel liquid larval diet and its rearing system for melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae). Annals of the Entomological Society of America, No, 97: 524–528.
- CHOUDHARY, J. S., S. S. MALI, N. NAAZ, L. M. MUKHERJEE, M. S. RAO, and B. P. BHATT. 2020. Predicting the population growth potential of *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera: Tephritidae) using temperature development growth models and their validation in fluctuating temperature condition. Phytoparasitica. No, 48: 1- 13.
- DAANE, K. M. and M. W. JOHNSON. 2010. Olive Fruit Fly: Managing an Ancient Pest in Modern Times. Annual Review of Entomology. No, 55: 151- 169.
- DANJUMA, S., N. THAOCHAN, S. PERMKAM, and C. SATASOOK. 2014. Effect of temperature on the development and survival of immature stages of the carambola fruit fly, *Bactrocera carambolae*, and the Asian papaya fruit fly, *Bactrocera papayae*, reared on guava diet. Journal of Insect Science. No, 14: 126 – 142.
- DUYCK, P. F. and S. QUILICI. 2002. Survival and development of different life stages of three *Ceratitiss*. spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. Bulletin of Entomological Research. No, 92: 461- 469.
- DUYCK, P. F., J. F. STERLIN, and S. QUILICI. 2004. Survival and development of different life stages of *Bactrocera zonata* (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures compared to other fruit fly species. Bulletin of Entomological Research. No, 94: 89– 93.
- EKESI, S., P. W. NDERITU, and I. RWOMUSHANA. 2006. Field investigation, life history and demographic parameters of *Bactrocera invadens* Drews, Tsuruta and White, a new invasive fruit fly species in Africa. Bulletin of Entomological Research. No, 96: 379– 386.
- FAOSTAT. 2019. "Crops/Regions/Production of Olives by Countries (from pick lists)". UN Food & Agriculture Organization, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Archived from the original on 18 January 2019. Retrieved 18 May 2019.
- FERNANDES-Da-SILVA, P. G. and F.S. ZUCOLOTO. 1993. The influence of host nutritive value on the performance and food selection in *Ceratitiss capitata* (Diptera, Tephritidae). Journal of Insect Physiology. No, 39: 883– 887.
- FETOH, E. S. A. B., A. A. ABDEL- GAWAD., F. F. SHALABY, and M. F. ELYME. 2012. Temperature-dependent development and degree-days models of the peach fruit Fly *Bactrocera zonata* (Saunders) and the cucurbit Fly *Dacus ciliatus* (Loew). International Journal of Environmental Sciences and Engineering, No, 3: 85–96.
- FLETCHER, B. S. and E. T. KAPATOS. 1983. An evaluation of different temperature-development rate models for predicting the phenology of the olive fly *Dacus oleae*. Fruit flies of economic importance Proceedings of the CEC/IOBC International Symposium, Athens, Greece, 16-19 November 1983, 321- 329, Rotterdam Netherlands: A.A. Balkema
- FLETCHER, B. S. 1989. Temperature– development rate relationships of the immature stages and adults of tephritid fruit flies. In: Robinson AS, Hooper G (Eds) Fruit flies their biology, natural enemies and control, Vol. 3A. Elsevier, Amsterdam.
- GENÇ, H. and J. L. NATION. 2008. Survival and development of *Bactrocera oleae* Gmelin (Diptera: Tephritidae) immature stages at four temperatures in the laboratory. African Journal of Biotechnology. No,7: 2495-2500.
- GILBERT, N. and D. A. RAWORTH. 1996. Insects and temperature, a general theory. The Canadian Entomologist. No, 128: 1-13.
- GOLIZADEH, A., K. KAMALI, Y. FATHIPOUR, and H. ABBASIPOUR. 2008. Life table and temperature-dependent development of *Diadegma anurum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) on its host *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Environmental Entomology. No, 37: 38– 44.

- GONCALVES, F. M. and L. M. TORRES. 2011. The use of cumulative degree-days to predict olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi), activity in traditional olive groves from the northeast of Portugal. *Journal of Pest science*. No, 84: 187-197.
- HONÉK, A. and F. KOCOUREK. 1990. Temperature and development time in insects: a general relationship between Thermal constants. *Zoologische Jahrbücher für Systematik*. NO,117: 401– 439.
- JERVIS, M. A. and M. J. W. COPLAND. 1996. The life cycle, pp. 63-161. in Jervis, M. & Kidd, N. (Eds.) *Insect natural enemies; practical approaches to their study and evaluation*. Chapman and Hall, London.
- KARIMI-MALATI, A., Y. FATHIPOUR, and A. A. TALEBI. 2014. Development response of *Spodoptera exigua* to eight constant temperatures: linear and nonlinear modeling. *Journal Asia- Pacific Entomology*. No, 17: 349– 354.
- KEHLENBECK, H., C. ROBINET, W. VAN DER WERF, D. KRITICOS, P. REYNAUD, and R. BAKER. 2012. Modelling and mapping spread in pest risk analysis: A generic approach. *OEPP/EPPO Bulletin*. No, 42(1): 74– 80.
- LIU, X., and H.YE. 2009. Effect of temperature on development and survival of *Bactrocera correcta* (Diptera: Tephritidae). *Scientific Research and Essays*. No, 4: 467– 472.
- LOGAN, J. A., D. J. WOLLKIND, S. C. HOYT, and L. K. TANIGOSHI. 1976. An analytical model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environmental Entomology*. No, 5: 1133- 1140.
- MESSENGER, P. S. and N. E. FLITTERS. 1958. Effect of constant temperature environments on the egg stage of three species of Hawaiian fruit flies. *Annals of Entomological Society of America*. No, 51: 109- 119.
- MIRHOSSEINI, M. A., Y. FATHIPOUR, and G. V. P. REDDY. 2017. Arthropod development's response to temperature: a review and new software for modeling. *Annals of Entomological Society of America*. No, 110: 507– 520.
- MIRHOSSEINI, M. A., Y. FATHIPOUR, M. SOUFBAF, and G. V. P. REDDY. 2018. Thermal Requirements and Development Response to Constant Temperatures by *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae), and Implications for Biological Control. *Environmental Entomology*. No, XX(X): 1–10.
- MOHAMED, A. M. 2000. Effect of constant temperature on the development of the peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera: Tephritidae). *Assuit Journal of Agricultural Sciences*, No, 31(2): 329– 337.
- MOHAMMADIPOUR, A., G. H. GHAREKHANI, RANJBAR AGHDAM, H, and A. K. KEYHANIAN. 2021. Estimation of the lower temperature threshold and thermal requirement of olive fruit fly *Bactrocera oleae* (Rossi.) (Dip: Tephritidae) using Degree-Day and Ikemoto linear models. *Journal of Entomological Society of Iran*, No, 41(4): 301- 319.
- NEUENSCHWANDER, P., S. MLCHELAKIS, and E. KAPATOS. 1986. *Dacus oleae* (Gmel.), pp. 115-159. In: *Entomologie oleicole* (ARAMBOURG Y., Ed.). Conseil Oleicole International, Madrid, Spain.
- PAKYARI, H., Y. FATHIPOUR, and A. ENKEGAARD. 2011. Estimating development and temperature thresholds of *Scolothrips longicornis* (Thysanoptera: Thripidae) on eggs of two-spotted spider mite using linear and nonlinear models. *Journal of Pest Science*. No, 84: 153– 163.
- RANJBAR AGHDAM, H., Y. FATHIPOUR, D. C. KONTODIMAS, G. RADJABI, and M. REZAPANAH. 2009b. Age-specific life table parameters and survivorship of an Iranian population of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) at different constant temperatures. *Annals of Entomological Society of America*. No.102: 233– 240.
- RANJBAR AGHDAM, H., Y. FATHIPOUR, G. RADJABI, and M. REZAPANAH. 2009a. Temperature-dependent development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. *Environmental Entomology*. No. 38: 885– 895.
- REBAUDO, F. and V. B. RABHI. 2018. Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: review of major developments, challenges, and future directions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. No,166: 607– 617.
- RICALDE, M. P., D. E. NAVA, A. E. LOECK, and M. G. DONATTI. 2011. Temperature-dependent development and survival of Brazilian populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata*, from tropical, subtropical and temperate regions. *Journal of Insect Science*. No, 12: 1- 13.
- ROY, M., J. BRODEUR, and C. CLOUTIER. 2002. Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acari: Tetranychidae). *Environmental Entomology*. No, 31(1): 177- 187.
- RWOMUSHANA, I., S. EKESI, C. K. P. O. OGOL, and I. GORDON. 2008. Effect of temperature on development and survival of immature stages of *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Applied Entomology*. No, 132: 832- 839.
- SALLES, LAB. 1992. Metodologia de criação de *Anastrepha fraterculus* (Wied., 1830) (Diptera: Tephritidae) em dieta artificial em laboratório. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*. No, 21: 479- 486.
- SALUM, J. K., M. W. MWATAWALA, P. M. KUSOLWA, and M. DE MEYER. 2013. Demographic parameters of the two main fruit fly (Diptera: Tephritidae) species attacking mango in central Tanzania. *Journal of Applied Entomology*. No, 138: 141– 148.
- SAMAYOA, A. C., K. S. CHOI, Y. S. WANG, S. Y. HWANG, Y. B. HUANG, and J. J. AHN. 2018. Thermal effects on the development of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) and model validation in Taiwan. *Phytoparasitica*. No, 46:365– 376.
- SHI, P. J., G. V. P. REDDY, L. CHEN, and F. GE. 2016. Comparison of thermal performance equations in describing temperature-dependent developmental rates of insects:(I) empirical models. *Annals of Entomological Society of America*. No, 109: 211– 215.
- SHI, P. J., G. V. P. REDDY, L. CHEN, and F. GE. 2017. Comparison of thermal performance equations in describing temperature-dependent developmental rates of insects:(II) two thermodynamic models. *Annals of Entomological Society of America*. No, 110: 113– 120.
- SHINWARI, I., S. KHAN, M. A. KHAN, S. AHMAD, S. F. SHAH, M. A. MASHWANI, and M. A. KHAN. 2015. Evaluation of artificial larval diets for rearing of fruit fly *Bactrocera zonata* (Diptera: Tephritidae) under laboratory condition. *Journal of Entomology and Zoological Studies*, No, 3(4): 189– 193.

- SONG, Y., L. B. COOP, M. OMEG, and H. RIEDL. 2003. Development of a phenology model for predicting western cherry fruit fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Diptera: Tephritidae), emergence in the mid-Columbia area of the western United States. *Journal Asia-Pacific Entomology*. No, 6: 187- 192.
- SUTHERST, R. W. 2014. Pest species distribution modelling: origins and lessons from history. *Biol. Invasions*. No, 16: 239– 256.
- TANGA, C. M., A. MANRAKHAN, J. H. DANEEL, S. A. MOHAMED, K. FATHIYA, and S. EKESI. 2015. Comparative analysis of development and survival of two Natal fruit fly *Ceratitis rosa* Karsch (Diptera, Tephritidae) populations from Kenya and South Africa. *Zookeys*. No, 26: 467- 487.
- TRUDGILL D. L., A. HONÉK, D. LI, and N. M. STRAALLEN. 2005. Thermal time: concepts and utility. *Annals of Applied Biology*, No, 146: 1-14.
- TSIROPOULOS, G. J. 1972. Storage Temperatures for Eggs and Pupae of the Olive Fruit Fly. *Journal of Economic Entomology*, No, 65: 100– 102.
- TSITSIPIS, J. A. 1980. Effect of constant temperatures on larval and pupal development of olive fruit flies reared on artificial diet. *Environmental Entomology*. No, 9: 764– 68.
- TSITSIPIS, J. A. 1977. Larval diets for *Dacus oleae*: the effect of inert material cellulose and agar. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. No, 22: 227- 235.
- VARGAS, R. I., W. A. WALSH, D. KANEHISA, D. J. STARK, and T. NISHIDA. 2000. Comparative demography of three Hawaiian fruit flies (Diptera, Tephritidae) at alternating temperature. *Annals of Entomological Society of America*. No, 93: 75-81.
- VARGAS, R. I., W. A. WALSH, D. T. KANEHISA, E. B. JANG, and J. W. ARMSTRONG. 1997. Demography of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Annals of Entomological Society of America*. No, 90: 162– 168.
- VARGAS, R. I., W. A. WALSH, E. B. JANG, J. W. ARMSTRONG, and D. T. KANEHISA. 1996. Survival and development of immature stages of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Annals of the Entomological Society of America*. No, 89: 64- 69.
- VAYSSIÈRES, J. F., Y. CAREL, M. COUBES, and P. F. DUYCK. 2008. Development of Immature Stages and Comparative Demography of Two Cucurbit-Attacking Fruit Flies in Reunion Island: *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus ciliatus* (Diptera : Tephritidae). *Annals of Entomological Society of America*. No,73:307- 314.
- WORNER, S. P. 2008. Bioclimatic models in entomology, pp. 476–481. *In* J. L. Capinera (ed.), *Encyclopedia of entomology*. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- YOUNES, M. W.F., and AKEL, F. A. (2010). Effect of temperature on development and reproduction of Peach Fruit Fly, *Bactrocera zonata* (Saund.) (Diptera: Tephritidae). *Egyptian Journal of Experimental Biology (Zoology)*. No, 6: 255 - 261.
- ZAHIRI, B., Y. FATHIPOUR, M. KHANJANI, S. MOHARRAMIPOUR, and M. P. ZALUCKI. 2010. Preimaginal development response to constant temperatures in *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae): Picking the best model. *Environmental Entomology*. No, 39: 177– 189.