

مقاله علمی پژوهشی

تخمین آستانه پایین دمای رشدونمو و نیاز گرمایی مگس میوه زیتون *Bactrocera oleae* Rossi. (Diptera:Tephritidae) با بکارگیری مدل‌های خطی روز-درجه و ایکموتوعلی محمدی پور^۱، غلامحسین قره‌خانی^{۱*}، حسین رنجبراقدم^۲ و علی اکبر کیهانیان^۳

۱- گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران و ۲- بخش تحقیقات حشره‌شناسی کشاورزی، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gharekhani@maragheh.ac.ir

چکیده

مگس میوه زیتون (*Bactrocera oleae* (Rossi) (Dip:Tephritidae)) یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین آفات است که به زیتون حمله می‌کند و در سرتاسر مناطق زیتون‌کاری جهان، به‌خصوص در کشورهای مدیترانه، باعث کاهش جدی تولید زیتون می‌شود، و در بعضی سال‌ها به دلیل شرایط مناسب آب و هوایی موجب خسارت اقتصادی بالایی می‌شود. این آفت با تغذیه از میوه‌های زیتون، باعث کاهش کمیت و کیفیت زیتون کنسروی و همچنین روغن زیتون می‌شود. در این تحقیق، تأثیر دما به عنوان مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر رشدونمو مگس میوه زیتون، مورد مطالعه قرار گرفت. طول دوره رشدونمو دوره جنینی (تخم)، تخم + لارو، شفیرگی و کل دوره نابالغ مگس میوه زیتون از منطقه طارم سفلی در سه نقطه سیاهپوش، قوشچی و کلج در دامنه دمایی ۳۰-۱۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی ثبت شد. بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها، دما روی طول دوره رشدونمو مراحل رشدی مگس میوه زیتون را در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر قرار داد و افزایش دما، کاهش طول دوره رشدونمو را به دنبال داشت. مدل‌های خطی روز-درجه و ایکموتو به منظور توصیف رشدونمو تابع دمای مگس میوه زیتون مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده در سیاهپوش، قوشچی و کلج نیاز گرمایی مرحله رشد جنینی تخم به ترتیب ۶۳/۶۸ و ۷۱/۲۸، ۶۳/۴۵، ۱۵۹/۶۸ و ۲۱۵/۸۳، ۲۰۹/۱۸، ۲۰۹/۱۸ و ۲۱۵/۸۳، ۳۴۸/۵۱، ۳۹۶/۹۴ و ۳۳۸/۴۰ روز-درجه با به کارگیری مدل ایکموتو به دست آمد. علاوه بر این، آستانه پایین دمای رشدونمو برای نقاط اشاره شده در مرحله تخم به ترتیب ۶/۷۱ و ۶/۳۳، ۶/۶۷، ۶/۷۱ درجه سلسیوس، برای مرحله تخم + لارو ۸/۰۴، ۶/۹۶ و ۹/۴۳ درجه سلسیوس، در مرحله شفیرگی ۹/۷۲، ۹/۳۵ و ۹/۴۵ درجه سلسیوس و برای کل دوره نابالغ ۹/۳۱، ۸/۴۱ و ۹/۳۹ درجه سلسیوس برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: دما، مدل خطی، نیاز گرمایی، *Bactrocera oleae***Estimation of the lower temperature threshold and thermal requirement of olive fruit fly, *Bactrocera oleae* Rossi. (Diptera:Tephritidae) using Degree-Day and Ikemoto linear models**Ali Mohammadipour¹, Gholamhossein Gharekhani^{2,*}, Hossein Ranjbar Aghdam³ & Ali Akbar Keyhanian⁴

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

دبیر تخصصی: مسعود امیرمعافی



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

*Corresponding author, E-mail: gharekhani@maragheh.ac.ir

Abstract

Olive fruit fly *Bactrocera oleae* (Rossi) (Dip: Tephritidae), is one of the most important and main pests that attack olives all around the world, especially in Mediterranean countries, seriously reduces olive production, and in some successful years due to the favorable weather conditions, they cause high economic damage to olives. This pest typically reduces the measurable quantity and superior quality of canned olives as well as olive oil after attacking olive fruits. In this study, the desired effect of specific temperatures was studied as the most important environmental factor undoubtedly affecting the continuous growth of olive fruit flies. Development time of incubation period, Egg and larval, pupal stage, as well as total immature stages of the olive fruit fly were recorded in temperatures ranging 10-30°C, 60-70% RH, and a photoperiod of (L:D) 16:8h. Based on the ANOVA, the specific temperature along the growth period inevitably affected significantly developmental time of the olive fruit fly at 5% probability level and the increase in temperature allegedly followed a decrease in developmental time. Degree-Day and Ikemoto linear models were used to describe temperature-dependent development of the olive fruit fly. Based on the obtained results in Siahpoush, Qushchi and Kallaj, the heat requirements of embryonic developmental stages of eggs were obtained 63.45, 71.28 and 63.68 days-degrees, for the egg+ larvae stage were 209.18, 215.83 and 159.68 days-degrees, pupae stage were obtained 159.44, 183.15 and 175.55 days-degrees and the total immature stages were 348.51, 396.94 and 338.40 days-degrees respectively, using Ikemoto model. In completed addition, the practical values of low threshold temperature of growth temperature were estimated using Ikemoto linear model to be for the points mentioned for embryonic developmental stages of eggs were 6.67, 6.33 and 6.71°C, for the egg + larvae stage, 8.04, 6.96 and 9.43°C, The pupae stage 9.72, 9.35 and 9.45°C and the total immature stages were 9.31, 8.41 and 9.39°C, respectively.

Key words: *Bactrocera oleae*, linear model, thermal requirement, temperature

Received: 13 January 2022, Accepted: 5 March 2022.

مقدمه

درخت زیتون، *Olea europaea* L، در تمام مناطق جهان با آب‌وهوای مدیترانه‌ای توسعه یافته و از جنبه‌های اقتصادی دارای اهمیت هست (Daane & Johnson 2010). در همه این مناطق، زیتون‌کاری فعالیت 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 درصد از کل مساحت مورد اشاره در حوزه مدیترانه واقع شده است (FAO, 2019). اسپانیا (با ۶۱ درصد تولید)، بزرگ‌ترین کشور تولیدکننده روغن زیتون در جهان است و حدود ۹۶ درصد از تولید روغن زیتون اتحادیه اروپا را ایتالیا و یونان تشکیل می‌دهند (FAO, 2019). محصول زیتون مورد حمله بسیاری از آفات و بیماری‌ها قرار می‌گیرد که عملکرد آن را کاهش می‌دهند. در میان آفات، مگس میوه زیتون (*Bactrocera oleae* Rossi. (Dip:Tephritidae)، مهم‌ترین و اصلی‌ترین آفتی است که به زیتون حمله می‌کند و در سرتاسر جهان، به‌خصوص 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 (Daane & Johnson, 2010). مگس میوه زیتون در ایران تا سال ۱۳۸۳ از آفات قرنطینه‌ای بوده که متأسفانه در اواخر مرداد سال ۱۳۸۳ از باغات زیتون کشور گزارش شد (Jafari & Rezaei, 2004). به طوری که در سال ۱۳۸۳، ۱۰ درصد محصول زیتون کشور را از بین رفت. در حال حاضر این آفت در استان‌های گیلان، قزوین و زنجان وجود دارد. آسیب ناشی از مگس زیتون شامل بد شکلی میوه ناشی از نیش تخم‌گذاری و تغذیه از گوشت میوه توسط لارو آفت (Tzanakakis, 2006)، ریزش میوه‌ها قبل از برداشت (Neuenschwander & Michelakis, 2009) و کاهش کیفیت روغن زیتون (Gucci et al., 2012) است که در صورت عدم کنترل، میزان کاهش محصول زیتون ممکن است تا ۸۰ درصد در واریته‌های روغنی و تا ۱۰۰ درصد در واریته‌های خوراکی برسد (Broumas et al., 2002). یکی دیگر از مهم‌ترین مواردی که در مورد خسارت این

مگس وجود دارد، انتقال باکتری مولد گال زیتون (*Pseudomonas savastanoi* (Janse 1982) و ورود قارچ‌های بیمارگر از محل سوراخ ورودی لارو است (Girolami, 1973). از آنجا که رشدونمو حشرات به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی از قبیل دما، رطوبت، روشنایی، غذا، ترکیبات شیمیایی و عوامل بیماری‌زا می‌باشد، 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). هر گونه حشره دارای یک محدوده دمایی بهینه برای رشدونمو است که توسط آستانه‌های پایین (t_{min}) و بالایی (t_{max}) محدود شده است. در دمای پایین‌تر و بالاتر از این محدوده، رشدونمو رخ نمی‌دهد. با این حال، نیازهای دمایی یک گونه با مرحله رشد و منشأ جغرافیایی متفاوت است (Honék & Kocourek, 1990) و اغلب دوره رشدونمو حشرات با افزایش دما کاهش می‌یابد (Golizadeh et al., 2007). اطلاعات مربوط به نیازهای دمایی گروه‌های حشرات، اساس مهمی در درک و پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گروه‌های مختلف حشرات را تشکیل می‌دهد (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 (Shi et al., 2016; 2017). برای این منظور از تعدادی مدل خطی و غیرخطی برای توصیف رابطه بین سرعت رشد حشرات و دما استفاده شده است (Worner, 2008). اگرچه نیاز گرمایی (K) (روز-درجه) برای پیش‌بینی رشد حشرات تنها با استفاده از مدل‌های خطی قابل دستیابی است.

در مگس‌های میوه خانواده Tephritidae نیز همانند سایر حشرات، دما مهم‌ترین عامل محیطی تعیین‌کننده رشد و زنده‌مانی است (Fletcher, 1989). از این رو، اثرات دما بر رشد و زنده‌مانی مراحل مختلف این خانواده مورد توجه بوده است (Vargas et al., 1996; Vargas et al., 2000; Duyck & Quilici, 2002; Trudgill et al., 2005; Grout & Stoltz, 2007; Rwomushana et al., 2008; Vayssières et al., 2008; Liu & Ye, 2009). مهم‌ترین وقایع در فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت مگس‌های میوه، ظهور اولین مگس، شروع تخم‌گذاری و تفریح تخم است. وقایع دیگر مانند ظهور لاروها و شفیره‌ها اگرچه در تصمیمات کنترل مگس‌های میوه مهم نیستند، با این حال، اهمیت بیولوژیک این رخدادها را نمی‌توان نادیده گرفت. تعیین آستانه پایین دمایی برخی گونه‌های مگس میوه 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 می‌باشد. همچنین مجموع گرمای مؤثر برای دوره لاروی، شفیرگی و حشره کامل به ترتیب ۱۸۶/۲، ۷/۳ و ۴۱۴/۵ روز-درجه سلسیوس محاسبه شد (Tsitsipis, 1980). علی‌نیزی (AliNiazee, 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 داشت (Song et al., 2003). مقایسه رشدونمو و زنده‌مانی دو جمعیت مگس میوه *Ceratitis rosa* Karsch که از نظر جغرافیایی از دو کشور کنیا و آفریقای جنوبی با *C. rosa* R1 و *C. rosa* R2 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 ۱۱۵ الی ۳۵ درجه سلسیوس است. نتایج نشان داد که *C. rosa* R1 و *C. rosa* R2 از هر دو کشور از نظر فیزیولوژیکی در پاسخ به محدوده 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 & White

(Dipt.: Tephritidae)، یک آفت مگس میوه مهاجم جدید در آفریقا، در آزمایشگاه در پنج دمای ثابت ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت. مدل خطی برای نرخ رشد مراحل نابالغ در دما مناسب و قابل اطمینان بود. آستانه پایین دمایی از رگرسیون معادلات خطی برای مراحل تخم، لارو و شفیرگی به ترتیب ۸/۸، ۹/۴ و ۸/۷ درجه سلسیوس تخمین زده شد. مجموع گرمایی مؤثر (DD) برای رشد از تخم تا خروج حشرات کامل ۳۷۶ DD تخمین زده شد (Rwomushana et al., 2008). وارگاس و همکاران (Vargas et al., 1996)، آستانه پایین دمای و نیاز گرمایی را در *Bactrocera dorsalis* برای تخم، لارو و شفیره به ترتیب ۱۱/۸، ۶/۵، ۹/۳ درجه سلسیوس و ۲۱، ۱۶۱، ۱۷۶ روز- درجه تخمین زدند. مدل‌های پیش‌بینی در مرحله باردهی و رویشی محصول برای *B. dorsalis* بر اساس حداقل دما ساخته شد. معادله خطی $y = 2.566x - 36.39$ ، وقوع این رابطه را توضیح داد. در تعداد مشاهده شده و محاسبه شده مگس میوه در مرحله باردهی محصول بر اساس این مدل، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. از این رو این مدل برای پیش‌بینی جمعیت مگس میوه مناسب گزارش شد (Mouly et al., 2017). در مطالعه رشد وزنده‌مانی مراحل نابالغ مگس میوه کارامبول، *Bactrocera carambolae* Drew & Hancock و مگس میوه پایای آسیا، *Bactrocera papayae* Drew & Hancock یک رابطه خطی قوی و مثبت بین دما و سرعت رشد مراحل نابالغ *B. papayae* و *B. carambolae* مشاهده شد. 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 بود. همچنین مشخص شد که *B. carambolae* در مقایسه با *B. papayae* دارای مقادیر t_{min} 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 مجموع گرمایی مؤثر 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). بررسی بر روی جمعیت‌های مختلف مگس میوه مدیترانه‌ای *C. capitata* در سه منطقه در برزیل نشان داد که دمای پایه و روز- درجه برای تمام مراحل جز تخم در سه منطقه مشابه است. این تشابه، نشان‌دهنده توانایی این گونه برای سازگاری با شرایط مختلف آب و هوایی است (Ricalde et al., 2011).

تعیین عوامل مؤثر در رشد حشرات آفت و کاربرد این عوامل در مدل‌های پیش‌آگاهی، مناسب‌ترین زمان اعمال روش‌های کنترل و افزایش موفقیت در برنامه‌های مدیریت آفت را امکان‌پذیر می‌کند (Ranjbar Aghdam et al., 2009). مدل‌های مبتنی بر دما می‌توانند زمان نمونه‌برداری و کاربرد حشره‌کش را تعیین کنند. علاوه بر آن می‌توانند ناسازگاری‌های بین عملیات زراعی را به حداقل برسانند (Zahiri et al., 2010).

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. بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر دما به عنوان مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر رشدونمو مگس میوه زیتون *B. oleae* با استفاده از مدل‌های خطی روز- درجه و ایکموتو به منظور توصیف رشدونمو تابع دمای مگس میوه زیتون و تعیین نیاز گرمایی هر مرحله رشدی مگس میوه زیتون بود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری میوه سالم

در اول فصل به صورت هفتگی تا شروع آلودگی میوه‌های سالم زیتون از منطقه سیاهپوش با مشخصات جغرافیایی طول $49^{\circ}36'11''$ ، عرض $36^{\circ}7'$ و ارتفاع ۳۲۶ متر از سطح دریا، منطقه قوشچی با مشخصات جغرافیایی عرض $36^{\circ}65'$ ، طول $49^{\circ}32'50''$ و ارتفاع ۵۵۴ متر از سطح دریا و منطقه کلج با مشخصات جغرافیایی طول $49^{\circ}26'44''$ ، عرض $36^{\circ}71'$ و ارتفاع ۴۲۱ متر از سطح دریا جمع‌آوری شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه در محلول ضدعفونی پرکلرین ۱۰ درصد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد و بعد از آن با آب شسته و بعد از آگیری در کیسه فریزر گذاشته شد و در یخچال در دمای پنج درجه سلسیوس نگهداری شدند.

تشکیل کلنی مادری (اولیه)

برای تشکیل کلنی، میوه‌های آلوده به لارو مگس میوه زیتون بر اساس منطقه مورد نظر به طور هفتگی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. میوه‌های آلوده جمع‌آوری‌شده به ظروف پلاستیکی استوانه‌ای شکل $12 \times 20 \times 25$ سانتی‌متری منتقل و در اتاق پرورش در شرایط دمایی 26 ± 1 درجه سلسیوس با رطوبت نسبی 10 ± 60 درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی) قرار داده شد (Goncalves & Torres, 2011). پس از تکمیل دوره لاروی و شفیرگی، حشرات خارج شده از این میوه‌ها با استفاده از خاصیت نورگرایی جدا شده و بعد از جداسازی در ظروف پرورش به ابعاد $25 \times 25 \times 40$ سانتی‌متر رها شده و در شرایط اشاره شده نگهداری شدند. 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). محتویات تمام ظروف به صورت هفتگی تعویض شدند.

جهت تخم‌ریزی حشرات از میوه‌های زیتون سالم که قبلاً جمع‌آوری شده بود، استفاده شد. هفت روز بعد از خروج حشرات کامل، ۱۰۰ میوه سالم درون محیط آگار گذاشته و به مدت ۶-۵ ساعت در اختیار حشرات کامل مگس میوه زیتون گذاشته شد. بعد از آن، میوه‌ها برداشته و در ظروف به ابعاد $6 \times 14 \times 20$ سانتی‌متر و در شرایطی که کلنی حشرات مادری نگهداری شدند، این کار بطور روزانه انجام شد. بعد از کامل شدن دوره نابالغ، حشرات خارج شده به تفکیک منطقه در ظروف پرورش به ابعاد $25 \times 25 \times 40$ سانتی‌متر منتقل شدند و در شرایط کلنی مادری نگهداری شدند. این کار تا افزایش جمعیت کلنی و بعد از آن تا پایان آزمایش‌ها انجام شد.

بررسی تأثیر دما روی رشد و نمو مگس میوه زیتون *B. oleae*

در این پژوهش، رشد و نمو مراحل دوره جنینی، تخم+ لارو، شفیرگی و کل مرحله نابالغ مگس میوه زیتون در دماهای 10 ± 1 ، 12 ± 1 ، 15 ± 1 ، 17 ± 1 ، 20 ± 1 ، 22 ± 1 ، 24 ± 1 ، 26 ± 1 ، 28 ± 1 ، 30 ± 1 ، 32 ± 1 و 35 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 10 ± 70 درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی: روشنایی) در اتاقک رشد مورد بررسی قرار گرفتند. به همین منظور، حشرات جدید مگس میوه زیتون که در شرایط آزمایشگاه به دست آمده بودند، بعد از مدت ۷ روز، آماده تخم‌ریزی بودند، برای تخم‌گیری از حشرات کامل از پتری‌های آگار به رنگ سبز به همراه یک میوه سالم استفاده شد. تخم‌های گذاشته شده داخل آگار با سوزن اتاله شماره سه صفر خارج شده و به وسیله قلم‌مو با شماره سه صفر به پتری دارای یک کاغذ صافی که قبلاً با استفاده از آون در دمای ۷۰

درجه سلسیوس ضدعفونی شده بودند، منتقل و کاغذ صافی با آب مقطر، مرطوب و در نهایت درب پتری با پارافیلیم بسته شد و در دماهای مورد نظر (از دمای پایین، ۱۰ درجه سلسیوس) گذاشته شد و هر روز تخم‌ها در زیر بینوکولر بررسی شده و تعداد لاروهای خارج شده ثبت و حذف شدند.

جهت بررسی دورهٔ مرحله نابالغ، تعداد ۱۰۰-۸۰ عدد میوه سالم که در محیط کشت آگار گذاشته شده و ۶-۵ ساعت بعد میوه‌ها برداشته شده و در ظروف استوانه‌ای شکل به ابعاد ۱۰×۵ 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 شد و هر روز وضعیت میوه‌ها مورد بررسی قرار گرفته شد تا زمان خروج لارو سن آخر را بتوان به دست آورد. تعداد لارو خارج شده از میوه را یادداشت و آنها را با قلم‌مو ضدعفونی شده با الکل ۷۵ درصد و آب استریل به ظروف استوانه‌ای دیگر منتقل شد، لارو سن آخر بعد از خروج یک روز بعد شفیره می‌شود و بدین ترتیب زمان شفیرگی نیز به دست آمد. شفیره‌ها در همان شرایط نگهداری شده تا زمان خروج حشرات کامل مورد بررسی قرار گرفته شدند. بعد از خروج حشرات کامل بر اساس نر و ماده به تفکیک ثبت شدند.

جهت بررسی تأثیر دماهای مختلف بر طول دورهٔ 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 مقایسهٔ میانگین طول دورهٔ رشدونمو در دماهای مورد بررسی از آزمون توکی در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده و 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 هدف از دو مدل ریاضی خطی استفاده شد. بدین منظور ابتدا نرخ رشدونمو مراحل رشدی مگس میوه زیتون در دماهای مورد بررسی بر اساس داده‌های به دست آمده طبق روش Jervis & Copland (1996) محاسبه شد. بر این اساس $r=1/D$ که r نرخ رشدونمو و D طول دوره رشدونمو در روز است و در مرحلهٔ بعد، مدل‌های ریاضی برای توصیف روند تغییرات نرخ رشدونمو تابع دمای مگس میوه زیتون و برآورد شاخص‌های دمایی مربوطه مورد استفاده قرار گرفت.

مدل‌های ریاضی مورد ارزیابی

مدل‌های خطی بر اساس این واقعیت که نرخ رشدونمو حشرات با افزایش دما به صورت خطی افزایش می‌یابد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس برای توصیف رشدونمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف دو مدل خطی "روز-درجه" و "ایکمو" مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مدل‌های خطی برای برازش با نرخ رشدونمو مگس میوه زیتون به عنوان تابعی از دما

Table 1. Linear models for fitting to development rate of olive fruit fly *Bacterocera oleae* as a function of temperature

Model	Equation	Reference
Degree- Day linear model	$D(T) = K / (T - t_{min})$	(Campbell <i>et al.</i> , 1974)
Ikemoto linear model	$DT = K + t_{min} D$	(Ikemoto and Takai 2000)

که در مدل روز-درجه رابطه D طول دوره رشدونمو، T دمای محیط، k نیاز گرمایی و t_{min} آستانه پایین دمای رشدونمو است. این مدل، در واقع معادلهٔ خط رگرسیون بین دو متغیر دما (متغیر مستقل) $(X=T)$ و نرخ رشدونمو (متغیر وابسته) $(Y=1/D)$ است (Campbell *et al.*, 1974). همچنین در مدل ایکموتو، شکل جدیدی از رابطه خطی بین طول دوره رشدونمو \times دما $(D \times T)$ و طول دوره رشدونمو (D) ارائه شده است. در این مدل

خطی، پارامترهای شیب خط (یعنی t_{min}) و عرض از مبدا (یعنی k) به ترتیب دمای آستانه پایین و نیاز گرمایی رشدونمو می‌باشد و نیازی به محاسبه جداگانه آنها نیست (Ikemoto & Takai, 2000).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل مدل‌های خطی از نرم‌افزارهای (1) ATM Excel2010 (ArthroThermoMode) (Mirhossini *et al.*, 2017) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده برای توصیف نمو مگس میوه زیتون در دماهای مختلف و تعیین پارامترهای دمایی رشد از مدل‌های ریاضی خطی استفاده شد. برای برآورد آستانه پایین دمای تخم، تخم + لارو و شفیره از تحلیل رگرسیون استفاده می‌شود (Liu *et al.*, 1995; Liu & Meng, 1999). برای ایجاد این رابطه، زمان رشد مراحل رشدی (به عنوان مثال زمان مورد نیاز برای ۵۰ درصد از افراد برای تکمیل یک مرحله بیولوژیکی مشخص) در یک سری دمای ثابت و نرخ رشد تخمین زده شده و سپس در برابر دما، گراف ترسیم می‌شود (Bre'vault & Quilici, 2000).

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 تعیین شده و سپس با معکوس نمودن مقادیر، طول دوره رشدونمو تعیین شد. به منظور تعیین بهترین خط با بیشترین میزان برازش روی داده‌های مشاهده‌ای و برآورد پارامترهای مدل برای مدل روز-درجه بر اساس روش تجزیه رگرسیون معمولی نوع اول (OLS=Ordinary Least Squares) و برای مدل ایکموتو از روش مدل رگرسیون نوع دوم (RMA=Reduced Major Axis) استفاده شد (Campbell *et al.*, 1974; Ikemoto & Takai, 2000; Friedman *et al.*, 2013).

نتایج

رشدونمو تابع دمای مگس میوه زیتون *Bacterocera oleae*

طول دوره رشدونمو مراحل زیستی جنینی (تخم)، تخم + لارو، شفیرگی و کل دوره رشدونمو نابالغ مگس میوه زیتون در ۱۰ دمای ثابت از سه منطقه سیاهپوش، قوشچی و کلج مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به دست آمده در جدول ۲ ارائه شده است. به دلیل اینکه در دماهای ۸ و ۳۲ درجه سلسیوس، مرحله تخم مگس میوه زیتون و در دماهای ۱۰ و ۳۰ درجه سلسیوس، مرحله تخم + لارو و شفیرگی نتوانست رشدونمو داشته باشند، نتایج مربوط به این دماها ارائه نشده است. بر اساس نتایج مشخص شد با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۶ درجه سلسیوس طول دوره رشدونمو مراحل مختلف رشدی مگس میوه زیتون کاهش می‌یابد. بر این اساس میانگین دوره جنینی، تخم + لارو و شفیرگی مگس میوه زیتون در منطقه سیاهپوش در دماهای مورد بررسی به ترتیب ۱۶/۸۳ - ۳/۱۳، ۶۵/۱۲۵ - ۱۳/۰۲ و ۶۸/۸۳ - ۱۲/۲۹ روز متغیر بود. طولانی‌ترین طول دوره کل مرحله نابالغ در دمای ۱۲ درجه سلسیوس و کوتاه‌ترین آن در دمای ۲۶ درجه سلسیوس مشاهده شد. با این وجود در دمای ۲۸ درجه سلسیوس طول این دوره افزایش داشت (جدول ۲). میانگین دوره جنینی، تخم + لارو، شفیرگی و کل مرحله نابالغ مگس میوه زیتون در منطقه قوشچی به ترتیب ۱۶/۳۲ - ۳/۰۹، ۴۳/۱۷ - ۱۳/۸۹، ۶۸/۷۱ - ۱۰/۲۴ و ۱۱۱/۶۵ - ۲۳/۴۳ روز مشاهده شد (جدول ۲). در منطقه کلج، طول دوره جنینی مگس میوه با افزایش دما تا ۳۰ درجه سلسیوس کاهش یافت فقط در دمای ۲۸ درجه سلسیوس طول این دوره نسبت به دمای ۲۶ درجه سلسیوس افزایش داشت. میانگین طول دوره تخم + لارو با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۴ درجه سلسیوس کاهش یافت. اما در دماهای ۲۶ و ۲۸ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۴ درجه سلسیوس طول دوره افزایش داشت. میانگین طول دوره شفیرگی با افزایش دما از ۱۰ تا

۲۸ درجه سلسیوس کاهش یافت. طولانی‌ترین طول دوره کل مرحله نابالغ در دمای ۱۲ درجه سلسیوس و کوتاه‌ترین آن در دمای ۲۴ درجه سلسیوس مشاهده شد. با این وجود در دماهای ۲۶ و ۲۸ درجه سلسیوس طول این دوره افزایش داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین طول دوره رشدونمو مرحله تخم و کل دوره نابالغ مگس میوه زیتون بین سه منطقه، وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد را نشان داد. بر این اساس منطقه سیاهپوش در دماهای ۱۲ و ۲۴ درجه سلسیوس، منطقه قوشچی در دماهای ۱۵، ۱۷ و ۲۰ درجه سلسیوس و منطقه کلج در دمای ۱۰، ۲۸، ۳۰ درجه سلسیوس دارای بیشترین طول دوره رشدونمو و در گروه آماری (A) قرار گرفتند. همچنین در دمای ۱۷ و ۲۸ درجه سلسیوس در منطقه سیاهپوش، در دمای ۲۶ درجه سلسیوس در منطقه قوشچی و در دماهای ۲۰ و ۲۴ درجه سلسیوس در منطقه کلج، دارای کمترین طول دوره رشدونمو بوده و در گروه آماری (C) قرار گرفتند (جدول ۲).

ارزیابی مدل‌های خطی در توصیف روند رشد و نمو تابع دما در مگس میوه زیتون *B. oleae*

در ارزیابی مدل‌های خطی مورد بررسی بر اساس نتایج حاصل مشخص شد که داده‌های مربوط به دمای ۲۶ درجه سلسیوس نسبت به داده‌های سایر دماها با خط مستقیم معادله رگرسیون خطی فاصله داشت. بر این اساس به منظور تخمین دقیق آستانه پایین دما و نیاز گرمایی مراحل مختلف رشدی مگس میوه زیتون، داده‌های دمای بعد از ۲۶ درجه سلسیوس با توجه به Declerq & Degheele, (1992) و Ranjbar Aghdam *et al.* (2009) از تجزیه رگرسیون خطی حذف شدند تا موجب ایجاد خطا در برآورد درست آستانه پایین دمای رشدونمو و نیاز گرمایی نشود. بر این اساس، مدل رگرسیون خطی به دست آمده، آستانه پایین دما و نیاز گرمایی هر یک از مراحل رشدی مگس میوه زیتون در جدول ۳ ارائه شده است. هر چند بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت زیادی بین دو مدل مورد بررسی از نظر میزان دقت در پیش‌بینی روند رشدونمو در دماهای مختلف مشاهده نمی‌شود، ولی متخصصین امر پیش‌بینی‌های مدل خطی ایکموتو را به مدل خطی روز-درجه به دلیل دقت بالاتر در بیشتر موارد ترجیح می‌دهند. همچنین در بین مدل‌های مختلف ریاضی که برای بیان تأثیر دما روی رشدونمو بنده‌پایان و قابلیت آنها برای تخمین پارامترهای زیستی بکار می‌روند، مدل خطی روز-درجه و ایکموتو جزو معدود مدل‌هایی هستند که به کمک آنها می‌توان نیاز گرمایی (K) و آستانه پایین دمای (t_{min}) را تخمین زد.

Table 2. Developmental times (day) of immature stages of olive fruit fly *Bacterocera oleae* at nine constant temperatures.

Geographical population	Temperature (°C)	Egg		Egg+ Larva		Pupa		Total Immature Stages		
		Mean ± SE	No	Mean ± SE	No	Mean ± SE	No	Mean ± SE	No	
Kallej	10	16.83±0.12 aA	-	-	-	-	-	-	-	
	12	13.35±0.12 bA	24	65.12±0.42 aA	24	68.83±0.23 aB	10	133.03±0.25 aA	13	
	15	8.09±0.1 cB	295	25.43±0.16 bB	287	30.46±0.15 bC	199	55.92±0.17 bB	26	
	17	6.01±0.06 dC	438	20.62±0.08 cB	429	21.59±0.04 cC	317	41.79±0.09 cC	414	
	20	4.32±0.04 eB	574	18.02±0.06 dA	574	16.93±0.08 dC	469	35.06±0.07 dB	379	
	24	3.84±0.02 fA	253	15.14±0.09 eA	253	10.29±0.05 eC	234	25.29±0.09 eA	299	
	26	3.39±0.03 gA	573	12.62±0.07 fA	573	11.13±0.03 fC	542	23.81±0.08 e fB	372	
	28	3.19±0.05 gA	478	12.27±0.06 fB	478	12.29±0.05 gA	441	24.57±0.09 fC	294	
	30	3.13±0.02 gA	5	13.02±0.21 fA	-	-	-	-	-	-
		F	4495.97	-	4690.06	-	25898.3	-	16443.3	-
	df	8.3243	-	7.2632	-	6.2611	-	6.2205	-	
	p	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0001	-	
Qushchi	10	16.33±0.1 aB	-	-	-	-	-	-	-	
	12	13.15±0.12 bA B	48	43.17±0.22 aC	48	68.71±0.18 aB	17	111.65±0.59 aB	17	
	15	9.01±0.08 cA	335	26.29±0.14 bA	319	31.25±0.18 bA	232	58.05±0.17 bA	232	
	17	7.51±0.06 dA	480	21.32±0.08 cA	470	24.33±0.08 cA	374	45.74±0.12 cA	374	
	20	5.47±0.09 eA	468	17.11±0.06 dB	467	18.42±0.04 dA	394	35.53±0.08 dA	394	
	24	3.39±0.03 fB	496	12.59±0.09 eB	496	11.74±0.05 eB	354	24.42±0.12 eB	354	
	26	3.35±0.04 f gA	599	11.82±0.06 fB	599	11.57±0.02 eB	502	23.43±0.07 fC	502	
	28	3.18±0.04 f gA	356	14.71±0.06 fA	354	10.27±0.03 fC	243	25.13±0.07 eB	243	
	30	3.09±0.03 gA	9	13.89±0.2 eA	-	-	-	-	-	-
		F	5257.15	-	4452.46	-	50990.5	-	18266.3	-
	df	3309.8	-	7.2782	-	6.2746	-	6.21.6	-	
	p	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0001	-	
Siahpoush	10	16.61±0.12 aAB	-	-	-	-	-	-	-	
	12	12.93±0.1 bB	47	63.74±0.3 aB	27	71.26±0.16 aA	13	132.85±0.5 aA	13	
	15	7.81±0.06 cC	343	25.58±.12 bB	339	31.24±0.09 bB	26	55.92±0.31 bB	26	
	17	6.58±0.07 dB	501	20.42±0.05 cB	477	22.45±0.03 cB	414	42.86±0.05 cB	414	
	20	5.61±0.07 eA	470	15.93±0.07 dC	440	17.95±0.04 dB	379	33.91±0.07 dC	379	
	24	3.01±0.04 fC	363	11.59±0.06 eC	337	12.32±0.05 eA	299	23.86±0.1 fC	299	
	26	2.75±0.04 f gB	-	12.76±0.09 f gA	422	12.81±0.08 fA	372	25.58±0.12 eA	372	
	28	2.89±0.03 f gB	-	14.82±0.06 d eA	373	10.88±0.04 gB	294	25.56±0.1 eA	294	
	30	2.62±0.03 gB	-	13.50±0.29 e fA	-	-	-	-	-	-
		F	5070.07	-	7782.38	-	29089.3	-	14960.2	-
	df	8.3453	-	7.2559	-	6.2409	-	6.1790	-	
	p	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0001	-	<0.0001	-	

میانگین‌های دارای حروف متفاوت (حروف بزرگ) در هر ستون نشان دهنده اختلاف بین جمعیت‌ها (آزمون توکی، $P < 0.05$). علاوه بر این، میانگین‌های با حروف متفاوت (حروف کوچک) در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار بین دماها (آزمون توکی، $P < 0.05$).

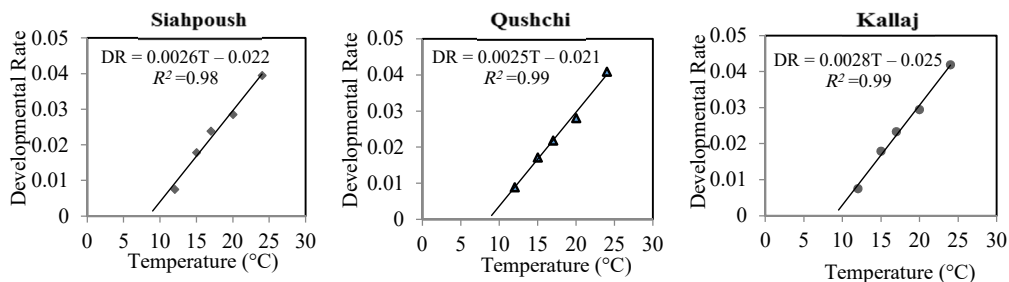
Means with different letters (capital letters) in each column (in each population) have significant differences (Tukey test, $P < 0.05$). In addition, the means with different letters (lower

جدول ۳- مدل‌های رگرسیون خطی، آستانه پایین دمای و نیاز گرمایی (روز- درجه) مراحل نابالغ مگس میوه زیتون *Bactrocera oleae* با استفاده از دو مدل خطی در سه منطقه مورد بررسی.

Table 3. Low-temperature threshold (t_{min}) and thermal constant (K) of different immature stages of olive fruit fly *B. oleae* estimated using two linear models

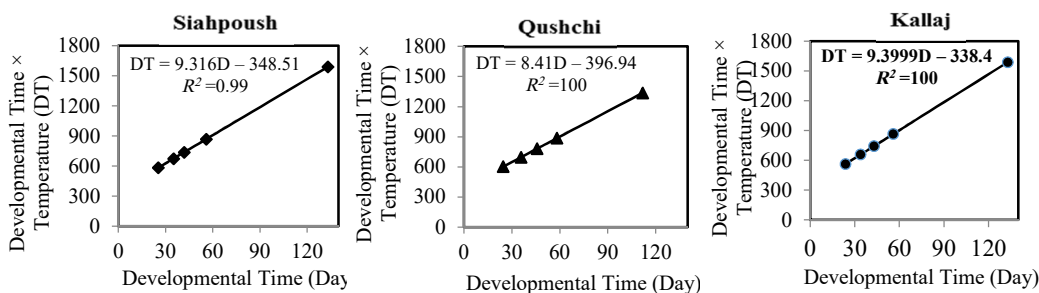
Geographical population	Developmental Stage	Model	Linear model	t_{min} (C)	K (DD)	R^2	r^2_{adj}	P-value	
Siahpoush	Egg	Degree - Day	DR = 0.0157T - 0.104	6.60	63.77	0.98	0.97	0.0002	
		Ikenoto	DT = 6.674D - 63.45	6.67	63.45	0.97	0.96	0.00004	
		Degree - Day	DR = 0.0038T - 0.022	5.76	263.35	0.95	0.94	0.005	
	Egg+ Larva	Ikenoto	DT = 8.044D - 209.19	8.04	209.18	0.96	0.95	0.0004	
		Degree - Day	DR = 0.0067T - 0.068	10.13	149.56	0.98	0.97	0.001	
		Ikenoto	DT = 9.721D - 159.44	9.72	159.44	100	100	0.000001	
	Total Immature Stages	Degree - Day	DR = 0.0026T - 0.022	8.45	389.73	0.98	0.98	0.0008	
		Ikenoto	DT = 9.316D - 348.51	9.31	348.51	0.99	0.99	0.000007	
		Degree - Day	DR = 0.0161T - 0.12	7.46	62.02	0.96	0.95	0.009	
	Qushchi	Egg	Ikenoto	DT = 6.327D - 71.283	6.33	71.28	0.96	0.95	0.0006
			Degree - Day	DR = 0.0046T - 0.032	6.88	217.59	100	100	0.00006
			Ikenoto	DT = 6.962D - 215.83	6.96	215.83	100	100	0.000003
Pupa		Degree - Day	DR = 0.0057T - 0.055	9.68	174.70	0.99	0.98	0.0006	
		Ikenoto	DT = 9.353D - 183.14	9.35	183.15	100	100	0.000001	
		Degree - Day	DR = 0.0025T - 0.021	8.24	404.14	0.99	0.99	0.00002	
Total Immature Stages		Ikenoto	DT = 8.41D - 396.94	8.41	396.94	100	100	0.00000009	
		Degree - Day	DR = 0.0181T - 0.014	7.80	55.17	0.98	0.98	0.0002	
		Ikenoto	DT = 6.71D - 63.683	6.71	63.68	0.97	0.96	.0003	
Kalaj		Egg+ Larva	Degree - Day	DR = 0.0057T - 0.049	8.70	176.1	0.99	0.99	0.0004
			Ikenoto	DT = 9.429D - 159.68	9.43	159.68	0.99	0.99	0.000003
			Degree - Day	DR = 0.0055T - 0.051	9.25	183.47	0.99	0.99	0.0002
	Pupa	Ikenoto	DT = 9.479D - 177.55	9.45	177.55	100	100	0.0000005	
		Degree - Day	DR = 0.0028T - 0.025	8.94	360.36	0.99	0.99	0.0002	
		Ikenoto	DT = 9.3999D - 338.4	9.39	338.40	100	100	0.0000001	

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



شکل ۱ - برازش مدل خطی روز-درجه روی داده‌های مشاهدات ثبت شده برای نرخ رشدونمو مرحله رشدی نابالغ مگس میوه زیتون *B. oleae*

Fig. 1. Fitting Degree- Day linear model based on the observed values of developmental rates (1/d) for total immature stages of olive fruit fly *B. oleae*.



شکل ۲ - برازش مدل خطی ایکموتو روی داده‌های مشاهدات ثبت شده برای طول دوره رشدونمو مراحل رشدی نابالغ مگس میوه زیتون *B. oleae*

Fig. 2. Fitting Ikemoto linear model based on the observed values of total immature stages developmental times of olive fruit fly *B. oleae*

تخمین شاخص‌های مهم دمایی رشدونمو تابع دما در مگس میوه زیتون *B. oleae*

مقادیر برآورد شده برای شاخص آستانه پایین دمای رشدونمو مراحل مختلف مگس میوه زیتون با به‌کارگیری مدل ایکموتو در سه منطقه سیاهپوش، قوشچی و کلج نشان داد که مرحله رشدی تخم دارای آستانه پایین دمای کمترین نسبت به سایر مراحل رشدی مگس میوه زیتون است. این موضوع بیانگر تحمل بیشتر مرحله تخم نسبت به دماهای پایین‌تر در مقایسه با سایر مراحل رشدی مگس میوه زیتون است. که کمترین مقدار این شاخص مربوط به منطقه قوشچی با ۶/۳۳ درجه سلسیوس و بیشترین مقدار مربوط به منطقه کلج با ۶/۷۱ درجه سلسیوس است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، نیاز گرمایی مرحله رشدی تخم ۶۳/۴۵ تا ۷۱/۲۸ روز-درجه سلسیوس است که بیشترین مقدار مربوط به منطقه قوشچی برآورد شد.

در دوره رشدی تخم+ لارو مگس میوه زیتون، شاخص آستانه پایین دمای بین ۶/۹۶ تا ۹/۴۳ درجه سلسیوس و همچنین نیاز گرمایی این مرحله از ۱۵۹/۶۸ تا ۲۱۵/۸۳ روز-درجه سلسیوس برآورد شد. منطقه قوشچی با آستانه پایین دمای ۶/۹۶ درجه سلسیوس، دارای بیشترین نیاز گرمایی (۲۱۵/۸۳ روز-درجه سلسیوس) بود. همین‌طور بر اساس نتایج به‌دست آمده در دوره کل مرحله نابالغ مگس میوه زیتون، کمترین مقدار شاخص آستانه

پایین دما، مربوط به منطقه قوشچی با ۸/۴۱ درجه سلسیوس با بیشترین نیاز گرمایی ۳۹۶/۹۴ روز- درجه سلسیوس برآورد شد. اما در مرحله شفیرگی مگس میوه زیتون، شاخص آستانه پایین دمای این مرحله ۹/۳۵ تا ۹/۷۲ درجه سلسیوس و نیاز گرمایی نیز بین ۱۵۹/۴۴ تا ۱۸۳/۱۵ روز- درجه سلسیوس به دست آمد.

نتایج نشان داد روند رشدونمو مراحل مختلف مگس میوه زیتون متأثر از دمای محیط بوده و طول دوره رشدونمو آن با تغییرات دما تغییر می‌کند. همچنین نیاز گرمایی با طول دوره رشدونمو موجودات خونسرد در ماه‌های بالاتر از آستانه‌ی پایین رشدونمو ارتباط مستقیم دارد و با طولانی شدن طول دوره رشدونمو هر یک از مراحل نابالغ، گرمای مؤثر بیشتری از محیط جذب می‌شود.

بحث

بسیاری از عوامل غیرزنده بر رشدونمو حشرات تأثیر می‌گذارند. دما مهم‌ترین عامل محیطی تعیین‌کننده رشد و زنده‌مانی مگس‌های میوه تفریتید است (Fletcher, 1989). گونه‌های مختلف Tephritidae دامنه دمایی بهینه ویژه‌ای برای تکامل دارند که با آستانه‌های پایین و بالا محدود می‌شوند (t_{max} و t_{min}). پایین‌تر و بالاتر از این محدوده‌های دمایی، رشدونمو رخ نمی‌دهد و این می‌تواند هم با مرحله رشد و هم با منشأ جغرافیایی متفاوت باشد (Honék & Kocourek, 1990). اطلاعات مربوط به نیازهای حرارتی گروه‌های حشرات، اساس مهمی در درک و پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گروه‌های مختلف حشرات را تشکیل می‌دهد. دو پارامتر آستانه پایین دما و نیاز گرمایی که بیانگر چگونگی سرعت رشدونمو جانوران خونسرد نسبت به دما است (Higley et al., 1986) و روند نیاز گرمایی را منعکس می‌کنند از قسمت خطی منحنی رشدونمو و دما به دست می‌آیند (Higley et al., 1986; Hanula et al., 1987; Herrera et al., 2005). پارامترهای بیولوژیکی (مانند صفر رشدی و نیاز گرمایی)، از عوامل محدودکننده در توزیع جغرافیایی مگس‌های میوه می‌باشند (Ye, 2001). محاسبه نیاز گرمایی با استفاده از مدل‌های خطی به دلیل سادگی در مقایسه با مدل‌های غیرخطی و تعداد اندک پارامترهای آنها به سهولت انجام می‌شود، همچنین برآورد تقریبی آستانه پایین دمای رشد و نیاز گرمایی بالاتر از آستانه پایین دمای گونه‌های مورد مطالعه و در نهایت ارتباط خطی بین روند رشدونمو موجودات خونسرد را در یک دامنه دمایی که احتمال رخداد آن در طول دوره رشدونمو حشرات و کنه‌ها بیشتر است، می‌توانند به راحتی نشان دهند (Duyck et al., 2004; Ahmed et al., 2007; Fetoh et al., 2004).

برای گونه‌های مختلف جنس *Bacterocera* آستانه‌ها و نیاز گرمایی‌های مختلفی گزارش شده است به عنوان نمونه آستانه پایین دما برای تخم، لارو و شفیره *B. invadens* به ترتیب ۸/۸، ۹/۴ و ۸/۷ درجه سلسیوس بود و نیاز گرمایی آنها به ترتیب ۳۱، ۱۶۸ و ۱۷۷ DD به دست آمد (Rwomushana et al., 2008). همچنین در مطالعه *Bacterocera zonata* (Saund.) آستانه پایین دمای رشدونمو تخم، لارو و شفیره به ترتیب ۱۲/۷، ۱۲/۶ و ۱۲/۸ درجه سلسیوس با نیاز گرمایی ۲۵، ۶۸ و ۱۳۱ DD تخمین زده شد (Duyck et al., 2004). همچنین Vargas et al. 1996 آستانه پایین دما و نیاز گرمایی را در تخم، لارو و شفیره *Bacterocera dorsalis* به ترتیب ۱۱/۸، ۶/۵ و ۹/۳ درجه سلسیوس و ۲۱، ۱۶۱، ۱۷۶ DD تخمین زده‌اند. در بررسی رشدونمو و زنده‌مانی مراحل نابالغ *B. invadens* مشخص شد که رشدونمو مرحله تخم، لارو و شفیرگی از دمای ۱۵ درجه سلسیوس شروع و تا ۳۵ درجه سلسیوس ادامه یافت، بطوریکه طولانی‌ترین دوره رشدونمو مرحله نابالغ در ۱۵ درجه سلسیوس (۷۵/۷۴ روز) و کوتاه‌ترین (۱۷/۷۶ روز) در دما ۳۰ درجه سلسیوس به دست آمد. با توجه به نتایج، نگارندگان مدل خطی را برای نرخ رشدونمو مراحل نابالغ در دما مناسب و قابل اطمینان دانستند و آستانه پایین دما با استفاده از رگرسیون

معادلات خطی برای مراحل تخم، لارو و شفیرگی به ترتیب $۸/۸$ ، $۹/۴$ و $۸/۷$ روز درجه و مجموع گرمای مؤثر (DD) برای رشد از تخم تا خروج حشرات کامل *B. invadens* ۳۷۶ DD تخمین زده شد (Rwomushana et al., 2008). در بررسی تأثیر دما بر روی رشدونمو مگس میوه هلو *B. zonata* نتایج به وضوح نشان داد که رشد دوره جنینی، لاروی و شفیرگی *B. zonata* به تدریج با افزایش دما از ۲۰ به ۳۵ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. علاوه بر این، آستانه پایین دمای تخم، لارو و شفیره *B. zonata* به ترتیب $۸/۱$ ، $۶/۱$ و $۱۱/۷$ درجه سلسیوس بود. در همین حال، نیاز گرمایی تخم، لارو و شفیره به ترتیب بین $۵۲/۲۶$ و $۵۳/۸$ ، $۱۹۴/۶۷$ و $۲۰۲/۵۹$ ، $۱۱۵/۵۸$ و $۱۳۵/۰۸$ روز- درجه بودند (Younes & Akel, 2010). در بررسی اثر دما بر روی رشدونمو مرحله تخم سه مگس میوه *D. dorsalis* Hende و *Dacus cucurbitae* Coq. و *Ceratitis capitata* (Wied.) با توجه به پراکنش این سه گونه مگس میوه از مناطق گرمسیری تا نیمه گرمسیری، عامل اصلی در این گسترش پراکنش، دمای محیط‌زیست معرفی شد (Messenger & Flitters, 1958). Duyck et al. 2004 نتیجه گرفتند که بین دما و سرعت رشد تخم، مراحل لارو و شفیرگی *B. zonata* رابطه قوی و مثبتی وجود دارد. همچنین زنده‌مانی پایین مراحل مختلف *B. zonata* در دمای ۱۵ درجه سلسیوس باعث محدود شدن گسترش آن در مناطق مرتفع در جزیره Reunion شده است (Duyck & Quilici, 2002). علاوه بر این، کاهش زنده‌مانی مراحل نابالغ *B. zonata* در دمای ۳۵ درجه سلسیوس به اندازه گونه‌های *Ceratitis* بالا نیست، که نشان دهنده ترجیح برای شرایط گرم است (Duyck & Quilici, 2002). زمان رشد در دماهای بالا بسیار کوتاه است (۴ روز در ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) که تأیید می‌کند این گونه به خوبی با آب‌وهوای گرم سازگار است و باید در طول تابستان رشد کند. اگرچه دما عامل اصلی مؤثر بر رشد است اما عوامل زیستی، و به‌ویژه رقابت بین گونه‌ای، که مجدداً توسط عوامل غیر زیستی تنظیم می‌شوند می‌توانند نقش کلیدی در تعیین پراکنش جغرافیایی گونه‌های تفریتید داشته باشند. تهاجم به مناطق جدید توسط *B. zonata* به احتمال زیاد با افزایش تجارت بین‌المللی مرتبط است، اما ممکن است با گرم شدن کره زمین نیز مرتبط باشد. با توجه به نیازهای دمایی بالا، *B. zonata* ممکن است به ویژه با گرم شدن آب‌وهوا به عنوان یک آفت مهاجم بالقوه مهم برای تعداد فزاینده‌ای از مناطق در سراسر جهان تبدیل شود (Duyck & Quilici, 2004). نتایج بررسی طول دوره رشدونمو مگس میوه زیتون نشان داد که طول دوره جنینی از ۲۰ روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا ۳ روز در دمای ۳۲/۵ درجه سلسیوس متفاوت است. سریع‌ترین زمان رشد جنینی (۲/۵ روز) بین دمای ۲۷/۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس گزارش شده است (Tsitsipis, 1977). آستانه پایین دمای مرحله جنینی در دمای بین شش تا ده درجه سلسیوس به دست آمده است (Tsitsipis, 1977; Fletcher & Kapatos, 1983) و نیاز گرمایی دوره جنینی تخم به ۴۷ تا ۶۸ روز- درجه نیاز دارد (Fletcher & Kapatos, 1983). آستانه پایین دمای برای دوره رشدونمو لارو، ۱۱-۶ درجه سلسیوس است (Tsitsipis, 1977; Fletcher & Kapatos, 1983) طول دوره رشدونمو شفیره بین ۴۸/۶ روز در دمای ۱۲/۵ درجه سلسیوس و ۹/۳ روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس متفاوت است (Tsitsipis, 1980). آستانه پایین دما برای رشد شفیره ۱۰-۶ درجه سلسیوس اشاره شده است (Tsitsipis, 1980; Fletcher & Kapatos, 1983).

بررسی حاضر در راستای تخمین دماهای بحرانی مؤثر بر رشدونمو مگس میوه زیتون نشان داد که طول دوره انکوباسیون $۱۶/۸۳$ روز در دمای ۱۰ درجه سلسیوس تا سه روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس متفاوت است. دمای آستانه پایین دمای مرحله رشدی تخم بین $۶/۳۳$ تا $۶/۷۱$ درجه سلسیوس بود. همچنین نیاز گرمایی مرحله تخم $۶۳/۴$ تا $۷۱/۲۸$ روز- درجه سلسیوس به دست آمد. آستانه پایین دما برای رشدونمو تخم + لارو، بین $۶/۹۶$ تا $۹/۴۳$ درجه سلسیوس، طولانی‌ترین طول این دوره در دمای ۱۲ بین $۴۳/۱۷$ تا $۶۵/۱۲$ روز و در دمای ۳۲ درجه سلسیوس

هیچ لاروی نتوانست این مرحله رشدی را کامل کند و نیاز گرمایی این دوره رشدی بین ۱۵۹/۶۸ تا ۲۱۵/۸۳ روز- درجه سلسیوس به دست آمد. در مرحله رشدونمو شفیرگی، آستانه پایین دما بین ۹/۳۵ تا ۹/۷۲ درجه سلسیوس، در دمای ۱۲ درجه سلسیوس طول این دوره بین ۶۸/۷۱ تا ۷۱/۲۶ روز و همچنین نیاز گرمایی بین ۱۵۹/۴۴ تا ۱۸۳/۱۵ روز- درجه سلسیوس برآورد شد. در نهایت دوره رشدونمو مرحله کل نابالغ مگس میوه زیتون شاخص آستانه پایین دمای ۸/۴۱ تا ۹/۳۹ درجه سلسیوس، که طول این دوره رشدونمو ۱۳۳/۰۳ - ۱۱۱/۶۵ روز در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تا ۲۳/۴۳ روز در دمای ۲۸ درجه سلسیوس متغیر بود و نیاز گرمایی نیز بین ۳۳۸/۴۰ تا ۳۹۶/۹۴ روز- درجه سلسیوس به دست آمد. نتایج حاصل، نظر Higley et al. 1986 که موقعیت جغرافیایی را در تغییر این شاخص‌ها مهم می‌داند تأیید می‌کند. همانطور که انتظار می‌رفت و در بسیاری دیگر از حشرات نشان داده شده است، طول دوره رشد مگس میوه زیتون در تمام مراحل نابالغ، تحت تأثیر دما قرار دارد و با افزایش دما، میزان رشد به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. با نتایج به دست آمده این تحقیق، ارتباط خطی دو مدل روز- درجه و ایکموتو بین دماها برای مراحل رشدی تخم، تخم + لارو، شفیره و کل مرحله نابالغ مگس میوه زیتون به دست آمد و از مدل‌های خطی در این تحقیق برای توصیف رابطه بین دما و سرعت رشد استفاده شد زیرا بیشتر دماهای مورد بررسی در قسمت خطی رشد قرار داشتند. خطی بودن رابطه بین دما و سرعت رشد از ۱۰ تا ۳۰ درجه‌ی سلسیوس برای *B. oleae* و رگرسیون نزدیک به یک نتایج، ارتباط خطی قوی بین دما و مراحل مختلف رشدونمو مگس میوه زیتون را نشان می‌دهد که با گزارش‌های قبلی در مورد رشدونمو گونه‌های دیگر Tephritidae سازگار بود (Messenger & Flitters, 1958; Tsitsipis, 1977; Tsitsipis, 1980; Fletcher & Kapatatos, 1983; Vargas et al., 1996; Duyck & Quilici, 2002; Duyck et al., 2004; Rwomushana et al., 2008; Liu & Ye, 2009).

همان طور که اشاره شد نیازهای گرمایی و شاخص‌های مربوط به آن می‌تواند هم با مرحله رشدی و هم با منشأ جغرافیایی در بین جمعیت‌های مختلف متفاوت باشد و اطلاعات مربوط به نیازهای گرمایی گروه‌های حشرات، در درک و پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گروه‌های مختلف حشرات نقش مهمی ایفا می‌کند. تخمین ما از DD مورد نیاز برای رشدونمو مگس میوه زیتون کمتر از تخمین برآورد شده برای *B. invadens*, *B. zonata* و *C. capitata* و *rosa* بود. یافته‌های ما نشان داد که نیاز گرمایی در تمام مراحل زیستی مگس میوه زیتون در مقایسه با سایر مگس‌های *Bacterocera* پایین‌تر است، که احتمالاً به همین دلیل این حشره در آب‌وهوای مدیترانه‌ای به خوبی رشد می‌کند و از طرفی فعالیت مگس زیتون احتمالاً در مناطق دیگر با آب و هوای قاره‌ای (با دمای بالا و رطوبت کم) میسر نباشد که ممکن است زنده‌مانی و رشدونمو حشره را به شدت تحت تأثیر قرار دهد، همان‌طور که در جزیره کورفو (Fletcher et al., 1978) و دره مرکزی کالیفرنیا (Wang et al., 2009) نشان داده شده است. شباهت این شاخص‌ها می‌تواند ما را به این نتیجه رهنمون کند که این آفت از حوزه مدیترانه وارد کشور شده است و با سازگاری موفقیت‌آمیز با گیاه میزبان و آب و هوای محیط، توانایی تکمیل چرخه زندگی را به دست آورده است، از طرفی Ramezani et al. 2015 نیز در بررسی‌های جمعیت‌های مگس میوه زیتون در ایران با اتکا به داده‌های میتوکندری DNA (mtDNA) این مطلب را اثبات کرده اند.

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) و موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور (بخش

تحقیقات حشره‌شناسی کشاورزی) اعلام نمایند.

References

- Ahmed, A. A., El-Din, S., El-Din, E., El-Shazly, A. & Marwa, A. F.** (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* 84, 121–134.
- AliNiaze, M. T.** (1976) Thermal unit requirements for determining adult emergence of the western cherry fruit fly in the Willamette Valley of Oregon. *Environmental Entomology* 5, 397-402.
- Bre'vault, T. & Quilici, S.** (2000) Relationships between temperature, development and survival of different life stages of the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94, 25–30.
- Broumas, T., Haniotakis, G., Liaropoulos, C., Tomazou, T. & Ragoussis, N.** (2002) The efficacy of an improved form of the mass-trapping method, for the control of the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Dipt., Tephritidae): pilot-scale feasibility studies. *Journal of Applied Ecology* 126, 217-223.
- Campbell, A., Frazer, B. D., Gilbert, N., Gutierrez, A. P. & Makauer, M.** (1974) Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology* 11, 431-438.
- Daane, K. M. & Johnson, M. W.** (2010) Olive Fruit Fly: Managing an Ancient Pest in Modern Times. *Annual Review of Entomology* 55, 151-169.
- Danjuma, S., Thaochan, N., Permkam, S. & Satasook, C.** (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* 14, 126-142.
- DeClerq, P. & Degheele, D.** (1992) Development and survival of *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus sagitta* (Fab.) (Het.: Pentatomidae) at various constant temperatures. *Canadian Entomologists* 124, 125-133.
- Duyck, P. F. & Quilici, S.** (2002) Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research* 92, 461-469.
- Duyck, P. F., Sterlin, J. F. & Quilici, S.** (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* 94, 89-93.
- FAO.** (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.

- Fetoh, E. S. A. B., Abdel Gawad, A. A., Shalaby, F. F. & Elyme, M. F.** (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* 3, 85–96.
- Fletcher, B. S. & Kapatos, E. T.** (1983) The influence of temperature, diet and olive fruits on the maturation rates of female olive flies at different times of the year. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 33, 244–252.
- Fletcher, B. S., Pappas, S. & Kapatos, E. T.** (1978) Changes in the ovaries of olive flies (*Dacus oleae*, Gmelin) during the summer and their relationship to temperature, humidity and fruit availability. *Ecological Entomology* 3, 99–107.
- 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*. 3A. Elsevier, Amsterdam.
- Friedman, J., Bohonak, A. J. & Levine, A.** (2013) When are two pieces better than one: fitting and testing OLS and RMA regressions. *Environmetric* 24, 306-316.
- Genç, H. & Nation, J. L.** (2008) Survival and development of *Bactrocera oleae* Gmelin (Diptera: Tephritidae) immature stages at four temperatures in the laboratory. *African Journal of Biotechnology* 7, 2495-2500.
- Girolami, V.** (1973) Reperti morfo-istologici sulle batteriosimbiosi del *Dacus oleae* Gmelin e di altri Ditteri Tripetidi, in natura e negli allevamenti su substrati artificiali. *Redia* 54, 269-293.
- Golizadeh, A., Kamali, K., Fathipour, Y. & Abbasipour, H.** (2007) Temperature-dependent development of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *Insect Science* 14, 309-316.
- Goncalves, F. M. & Torres, L. M.** (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* 84, 187-197.
- Grout, T. G. & Stoltz, K. C.** (2007) Developmental rates at constant temperature of three economically important *Ceratitidis* spp. (Diptera: Tephritidae) from Southern Africa. *Environmental Entomology* 36, 1310-1317.
- Gucci, R., Caruso, G., Canale, A., Loni, A., Raspi, A., Urbani, S., Taticchi, A., Esposito, S. & Servili, M.** (2012) Qualitative changes of olive oils obtained from fruits damaged by *Bactrocera oleae* (Rossi). *HortScience* 47, 301–307.
- Hanula, J. L., Debarr, G. L. & Berisford, C. W.** (1987) Threshold temperature and degree-day estimates for development of immature southern pine coneworms (Lepidoptera: Pyralidae) at constant and fluctuating temperatures. *Ecological Entomology* 80, 62-64.
- Herrera, A. M., Dahlsten, D. D., Tomic-Carruthers, N. & Carruthers, R. I.** (2005) Estimating temperature-dependent developmental rates of *Diorhabda elongate* (Coleoptera:

- Chrysomelidae), a biological control agent of saltcedar (*Tamarix* spp.). *Environmental Entomology* 34, 775-784.
- Higley, L. G., Pedigo, L. P. & Ostlie, K. R.** (1986) Degree-day: A program for calculating degree-days and assumption behind the degree-days approach. *Environmental Entomology* 15, 999-1016.
- Honék A. & Kocourek, F.** (1990) Temperature and development time in insects: a general relationship between thermal constants. *Zoologische Jahrbücher für Systematik* 117: 401-439.
- Ikemoto, T. & Takai, K.** (2000) A new linearized formula for the law of the total effective temperature and evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology* 29 (4), 671-682.
- Jafari, Y. & Rezaei, V.** (2004) The first report of olive fruit fly importation to Iran. *News Entomological Society of Iran* 22: 1 [in Persian].
- Jervis, M. A. & Copland, M. J. W.** (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.
- Liu, S. S. & Meng, X. D.** (1999) Modelling development time of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) at constant and natural temperatures. *Bulletin of Entomological Research* 89, 53-63.
- Liu, S. S., Zhang, G. M. & Zhu, J.** (1995) Influence of temperature variations on rate of development in insects: analysis of case studies from entomological literature. *Annals of Entomological Society of America* 88, 107-119.
- Liu, X. & Ye, H.** (2009) Effect of temperature on development and survival of *Bactrocera correcta* (Diptera: Tephritidae). *Scientific Research and Essays* 4, 467-472.
- Messenger, P. S. & Flitters, N. E.** (1958) Effect of constant temperature environments on the egg stage of three species of Hawaiian fruit flies. *Annals of Entomological Society of America* 51, 109-119.
- Mirhosseini, M. A., Fathipour, Y. & Reddy, G. V. P.** (2017) Arthropod development's response to temperature: a review and new software for modeling. *Annals of Entomological Society of America* 110: 507- 520.
- Mouly, R., Shivananda, T. N. & Verghese, A.** (2017) Prediction models for *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) based on weather parameters in an organic mango orchard. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5, 345-351.
- Neuenschwander, P. & Michelakis, S.** (2009) The infestation of *Dacus oleae* (Gmel.) (Diptera: Tephritidae) at harvest time and its influence on yield and quality of olive oil in Crete. *Journal of Applied Entomology* 86, 420-433.

- Ramezani, S., Blibech, I., Trindade Rei, F., Van Asch, B. & Teixeira da Costa, L.** (2015) *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) in Iran: An invasion from the Middle West. *European Journal of Entomology* 112(4), 713-721.
- Ranjbar Aghdam, H., Fathipour, Y., Radjabi, Gh. & Rezapanah, M.** (2009) Temperature-dependent development and temperature thresholds of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. *Environmental Entomology* 38(3), 885-895.
- Ricalde, M. P., Nava, D. E., Loeck, A. E. & Donatti, M. G.** (2011) Temperature-dependent development and survival of Brazilian populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, from tropical, subtropical and temperate regions. *Journal of Insect Science* 12, 1-13.
- Roy, M., Brodeur, J. & Cloutier, C.** (2002) Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acari: Tetranychidae). *Environmental Entomology* 31(1), 177-187.
- Rwomushana, I., Ekesi, S., Ogot, C. K. P. O. & Gordon, I.** (2008) Effect of temperature on development and survival of immature stages of *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Applied Entomology* 132, 832-839.
- SAS Institute.** (2002) *SAS/STAT Software*, version 9.1. SAS Institute Inc.
- Shi, P. J., Reddy, G. V. P., Chen, L. & Ge, F.** (2017) Comparison of thermal performance equations in describing temperature-dependent developmental rates of insects:(II) two thermodynamic models. *Annals of Entomological Society of America* 110, 113-120.
- Shi, P. J., Reddy, G. V., Chen, L. & Ge, F.** (2016) Comparison of thermal performance equations in describing temperature-dependent developmental rates of insects:(I) empirical models. *Annals of Entomological Society of America* 109, 211-215.
- Song, Y., Coop, L. B., Omeg, M. & Riedl, H.** (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* 6, 187-192.
- Sutherst, R. W.** (2014) Pest species distribution modelling: origins and lessons from history. *Biological Invasions* 16, 239-256.
- Tanga, C. M., Manrakhan, A., Daneel, J. H., Mohamed, S. A., Fathiya, K. & Ekesi, S.** (2015) Comparative analysis of development and survival of two Natal fruit fly *Ceratitis rosa* Karsch (Diptera, Tephritidae) populations from Kenya and South Africa. *Zookeys* 26, 467-487.
- Trudgill, D. L., Honék, A., Li, D. & Straalen, N. M.** (2005) Thermal time: concepts and utility. *Annals of Applied Biology* 146, 1-14.
- Tsitsipis, J. A.** (1977) Larval diets for *Dacus oleae*: the effect of inert material cellulose and agar. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 22, 227-235.

- Tsitsipis, J. A.** (1980) Effect of constant temperatures on larval and pupal development of olive fruit flies reared on artificial diet. *Environmental Entomology* 9, 764–68.
- Tzanakakis, M. E.** (2006) *Insects and Mites Feeding on Olive: Distribution, Importance, Habits, Seasonal Development and Dormancy*. Leiden: Brill Acad. Publ. 182 pp.
- Vargas, R. I., Walsh, W. A., Jang, E. B., Armstrong, J. W. & Kanehisa, D. T.** (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* 89, 64-69.
- Vargas, R. I., Walsh, W. A., Kanehisa, D. T., Stark, D. J. & Nishida, T.** (2000) Comparative demography of three Hawaiian fruit flies (Diptera, Tephritidae) at alternating temperature. *Annals of Entomological Society of America* 93(1), 75-81.
- Vayssières, J. F., Carel, Y., Coubes, M. & Duyck, P. F.** (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* 73(2), 307-314.
- Wang, X. G., Johnson, M. W., Daane, K. M. & Nadel, H.** (2009) High summer temperatures affect the survival and reproduction of olive fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Environmental Entomology* 38(5):1496–1504.
- Worner, S. P.** (2008) Bioclimatic models in entomology. pp. 476-481. In J. L. Capinera (Ed.), *Encyclopedia of entomology*. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- Ye, H.** (2001) Distribution of the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Yunnan Province. *Insect Science* 8, 175–182.
- Younes, M. W. F. & Akel, F. A.** (2010) Effect of Temperature on development and reproduction of Peach Fruit Fly, *Bactrocera zonata* (SAUND.)(Diptera: Tephritidae). *The Egyptian Society of Experimental Biology (Zoology)* 6(2), 255-261
- Zahiri, B., Fathipour, Y., Khanjani, M., Moharramipour, S. & Zalucki, M. P.** (2010) Preimaginal development response to constant temperatures in *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae): Picking the best model. *Environmental Entomology* 39, 177-189.
-