

مقاله علمی پژوهشی

مدل رشد جمعیت کرم گلوگاه انار (*Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae) در شرایط صحرائیکبری فتوحی^۱، سید حسین گلدانساز^{۱*}، مسعود امیرمعافی^۲، وحید حسینی نوه^۱ و علی مسعودی‌نژاد^۳

۱- گروه گیاه‌پزشکی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران، ۲- موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ۳- موسسه بیوشیمی بیوفیزیک، دانشکده علوم مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: goldansz@ut.ac.ir

چکیده

کرم گلوگاه *Ectomyelois ceratoniae* Zeller مهمترین آفت انار در ایران است که دارای چند نسل همپوشان در سال می‌باشد. در این مقاله به‌کارگیری مدل مکانیستیکی برای توصیف تأثیر کنترل بر اندازه جمعیت کل کرم گلوگاه انار مورد بررسی قرار گرفته است. راه حل تحلیلی مدل مکانیستیکی به صورت تابع چگالی احتمال لجستیک توسط Matis et al. (2006) ارائه شده است. تابع چگالی احتمال لجستیک به خوبی با داده‌های کرم گلوگاه انار برای باغ شاهد و تیمار برازش یافت ($r^2=0.91$ & 0.95). پراسنجه‌های مدل عبارتند از، پیش‌بینی اندازه اوج جمعیت (N_{max})، پیش‌بینی زمان اوج جمعیت (t_{max}) و تقریب نرخ سرانه تولد و مرگ که همه آن‌ها از نظر کاربردی اهمیت دارند. به طور کلی، این مقاله کاربرد تجزیه و تحلیل داده‌های جمعیت کرم گلوگاه انار با استفاده از مدل‌های مکانیستیکی و پراسنجه‌های آن‌ها را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شب‌پره‌خرنوب، پویایی جمعیت، باغ انار

Population growth model of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae) under field conditionsKobra Fotouhi¹, Seyed Hosein Goldansaz^{1*}, Masood Amir-Maafi², Vahid Hosseinineveh¹ & Ali Masoudi-Nejad³

1. Department of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, 2. Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran & 3. Institute of Biochemistry and Biophysics, School of Engineering Science, University of Tehran, Iran.

* Corresponding author, E-mail: goldansz@ut.ac.ir

Abstract

The carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller, is the most important pest on pomegranate fruits and has several overlapping generations per year in Iran. This paper investigated the use of a mechanistic model for describing the effect of the control strategy on the size of the total population of the carob moth. The analytical solution of mechanistic model was written in the form of a logistic probability density function by Matis et al. (2006). The logistic probability density function fits this carob moth data very well for control and treatment fields ($r^2=0.91$ and 0.95). The parameters of the model are the predicted peak size, N_{max} , the predicted time of peak, t_{max} , and an approximate per capita birth and death rate, all of which are important in practical application. In general, this paper demonstrates the utility of analyzing carob moth population data using mechanistic models and their underlying rate parameters.

Key words: Carob moth, Population dynamics, Pomegranate garden

Received: 24 September 2020, Accepted: 4 May 2021.

مقدمه

کرم گلوگاه انار، *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyralidae) مهمترین آفت انار در ایران است. این آفت نه تنها در ایران بلکه در بسیاری از مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا پراکنده بوده و به محصولات دیگری مانند خرما، پسته، انجیر هم خسارت زیادی وارد می کند (Warner et al., 1990; Ranjbar et al., 2011; Kishani Farahani et al., 2012; Soufbaf et al., 2017). خسارت این آفت به انار در ایران، به طور متوسط حدود ۲۵-۳۰ درصد و ارزش آن میلیاردها تومان برآورد شده است (گلدانسانز، داده های منتشر نشده). کنترل شیمیایی این آفت با توجه به زیست شناسی آن که بخش زیادی از عمر خود را داخل میوه سپری می نماید، مؤثر نمی باشد. به همین دلیل استفاده از ارقام مقاوم، آبیاری منظم، تقویت درختان، رعایت اصول صحیح کاشت، جمع آوری انارهای آلوده در باغ، حذف پرچم ها، و کنترل بیولوژیک بویژه رهاسازی زنبور تریکوگراما در طول فصل، برای کنترل این آفت توصیه شده است (Shakeri, 2004). هر کدام از این روش ها تأثیر متفاوتی بر پویایی جمعیت کرم گلوگاه انار دارد، اما تاکنون تأثیر این روش های کنترلی بر پویایی جمعیت کرم گلوگاه انار به صورت کمی مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

تجزیه و تحلیل رشد جمعیت حشرات، جزء مهمی از مطالعات زیست شناسی آنها می باشد. با استفاده از این روش تجزیه و تحلیل می توان اوج جمعیت حشرات و زمان رسیدن به این اوج را پیش بینی نمود. همچنین می توان تأثیر استراتژی های کنترلی بر تغییرات جمعیت آفات را پیش بینی کرد (Matis & Al-Muhammed, 2010). یکی از مهمترین روش های تجزیه و تحلیل رشد جمعیت حشرات، استفاده از مدل های رشد تجمعی لجستیک می باشد (Matis & Al-Muhammed, 2010). مدل های رشدی لجستیک، اغلب برای مشخص کردن الگوهای کلی افزایش جمعیت حشرات در زمان و مکان بکار می روند (Renshaw, 1991). مدل لجستیک، توسط پراسنجه های نرخ ذاتی رشد جمعیت (r) و ظرفیت قابل تحمل محیط (K) توصیف می شود (Turchin, 2003). این مدل ها، به طور گسترده ای برای توصیف جمعیت حشراتی که جمعیت آنها به طور یکنواخت تا رسیدن به یک نقطه تعادل (ظرفیت قابل تحمل محیط) افزایش می یابد، استفاده می شوند (Matis et al., 2003, 2006, 2009, 2010; Matis & Kiffe, 2004; 2012). نرخ ذاتی رشد جمعیت و توانایی افزایش جمعیت تا ظرفیت قابل تحمل محیط دو عامل درونی است که پویایی جمعیت را در بلند مدت تحت تأثیر قرار می دهد (Turchin, 2003). بررسی منابع نشان داد که به طور عمده این مدل ها به منظور شبیه سازی رشد جمعیت شته ها توسعه یافته اند (Barlow & Dixon, 1980). مدل اولیه برای توصیف برخی مکانیسم های پویایی جمعیت شته ها توسط Prajneshu (1998) توسعه یافت. به دنبال آن، مدل یاد شده توسط Matis et al. (2006) تغییر یافت و برای تجزیه و تحلیل پویایی جمعیت شته *Monellia caryella* Fitch (Hemiptera: Aphididae) مورد استفاده قرار گرفت. از این مدل برای مطالعه پویایی جمعیت سایر شته ها (Matis et al., 2007a) استفاده و دلیل کاربرد آن مورد بررسی قرار گرفت و همچنین برای پویایی جمعیت شب پره ابریشم باف ناجور (*Lymantria dispar* Linnaeus (Lepidoptera: Erebidae) نیز استفاده شد (Matis & Al-Muhammed, 2010). بررسی منابع نشان داد که تاکنون هیچ مدلی برای توصیف اندازه جمعیت کرم گلوگاه انار به کار نرفته است. با استفاده از این مدل ها به سادگی می توان پویایی جمعیت کرم گلوگاه انار را توصیف نمود. بر این اساس، هدف از این مطالعه، ارائه یک مدل تحلیلی ساده برای توصیف پویایی رشد جمعیت کرم گلوگاه در شرایط طبیعی و ارزیابی روش های کنترلی بر آن می باشد.

مواد و روش‌ها

برای این مطالعه، در شهرستان ایوانکی (استان سمنان)، با مختصات جغرافیایی (۳۵ درجه و ۲۶/۲۸۸ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۹/۹۰۵ دقیقه شرقی) در سال زراعی ۱۳۹۸، سه باغ انار (دو باغ برای اجرای تیمار و یک باغ به عنوان باغ شاهد) با شرایط مشابه (درختان همسن، دارای ارقام و مدیریت یکسان) انتخاب شدند.

نمونه‌برداری: در هر یک از باغ‌ها، دو گروه درخت انتخاب شدند، گروه اول، یک گروه ۱۶ تایی و گروه دوم، یک گروه ۲۰ تایی که به فاصله ۵۰ متری از درختان گروه اول قرار داشتند. اعمال تیمار در گروه ۱۶ تایی انجام شد، اما در گروه دوم هیچ تیماری اعمال نشد و این ۲۰ درخت فقط به منظور بررسی میزان پراکنش اسانس آنگوزه، قدرت پرواز و پراکنش زنبورهای رهاسازی شده و در نتیجه اثر احتمالی سه عامل یاد شده روی این درختان در نظر گرفته شدند. بنابراین در هر یک از باغ‌های تیمار و شاهد، ۳۶ درخت مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. به این منظور فقط از حدود اوایل خرداد تا اواخر تیر ماه اسانس آنگوزه به کار رفت. صمغ تلخ آنگوزه از شهرستان شیراز خریداری و اسانس‌گیری نیز با بکارگیری دستگاه کلونجر (روش تقطیر آب) در گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه تهران صورت گرفت. سپس با توجه به نتایج تحقیقات (Kishani Farahani et al., 2012) که نشان داد زنبور *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) یکی از زنبورهای نسبتاً فعال در طول تابستان در باغ‌های انار می‌باشد، از اواسط مرداد ماه تا اواخر مهرماه هر هفته ۵۰ جفت حشره کامل یک روزه زنبور انگل‌واره *H. hebetor* در باغ مورد نظر رهاسازی شد و همچنین با توجه به کارهای تحقیقاتی (Mirhashemi et al., 2016) که نشان داده بود، بیشتر فعالیت زنبور تریکوگراما در باغ‌های انار، در اواخر فصل می‌باشد، بر این اساس از اواسط شهریور تا اواسط مهرماه (همزمان با رهاسازی زنبور *H. hebetor*) هر هفته رهاسازی زنبور *Trichogramma evanescens* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) با نصب تریکوکارت‌های حاوی پیش‌شغیره زنبور (بسته به سن و اندازه درخت، ۲ الی ۳ تریکوکارت) در داخل تاج هر درخت انجام شد (تریکوکارت‌ها با نسبت جنسی ماده به نر (۱/۵) به ۱)، از شرکت پارس گل اترک شهرستان نیشابور تهیه شد). به منظور تعیین میزان اثربخشی تیمارهای اعمال شده، از ابتدای فصل (همزمان با فندق شدن انارها) تا زمان برداشت انار (آخر مهرماه)، هر هفته کلیه انارهای ریخته شده پای ۳۶ درخت علامت‌گذاری شده (گروه اول و گروه دوم) در باغ شاهد و تیمار به تفکیک هر درخت جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و تعداد تخم، لارو و شغیره کرم گلوگاه روی آنها شمارش و در جداولی ثبت شد. نوسانات جمعیت کل کرم گلوگاه انار در باغ شاهد و تیمار ترسیم شد.

به منظور ارائه یک چارچوب نظری برای مدل‌سازی اندازه جمعیت مراحل نابالغ کرم گلوگاه انار از مدلی که در سال‌های اخیر توسط Matis et al. (2006) توسعه یافته بود، استفاده شد. در این مدل فرض شده است که اندازه جمعیت حشره ($N(t)$) در یک منطقه، تابعی از زمان (t) است، یعنی:

$$N(t) = \frac{4N_{max}e^{-b(t-t_{max})}}{[1+e^{-b(t-t_{max})}]^2} \quad (1)$$

در این معادله، t زمان (روز)، $N(t)$ اندازه جمعیت کل کرم گلوگاه در زمان t است. پراسنجه‌های مدل عبارتند از، N_{max} اندازه جمعیت در اوج، t_{max} زمان اوج جمعیت و b نرخ تولد سرانه. این معادله رگرسیونی از حل معادله مکانیستیکی زیر:

$$N'(t) = [\lambda - \delta F(t)]N(t) \quad (۲)$$

حاصل شده است (Kindlmann, 1985)، که بر مبنای فرض‌های معینی برای تغییرات جمعیت کرم گلوگاه استوار است. نرخ تولد جمعیت در زمان (t) برابر با $\lambda N(t)$ فرض شده است، که در این رابطه λ نرخ سرانه تولد یا به عبارت دیگر نرخ ذاتی رشد جمعیت است. $F(t)$ تراکم تجمعی است که به صورت ریاضی به شرح زیر می‌باشد:

$$F(t) = \int_0^t N(s)ds \quad (۳)$$

که از بعد نظری، مساحت کل زیر منحنی $N(t)$ در واحد حشره-زمان است، نرخ مرگ جمعیت فرض شده برابر با $\delta F(t)N(t)$ می‌باشد. بنابراین نرخ سرانه مرگ $\delta F(t)$ تابعی از اندازه تجمعی جمعیت کرم گلوگاه انار از زمان صفر تا کنون است.

مدل Matis *et al.* (2006) (معادله ۱) با استفاده از رویه NLIN و با استفاده از نرم افزار SAS (Ver. 9.4) با داده‌ها برازش یافته و پراسنجه‌های مدل یعنی N_{max} اندازه جمعیت در اوج، t_{max} زمان اوج جمعیت و b نرخ تولد سرانه تخمین زده می‌شود. از این پراسنجه‌ها برای تخمین پراسنجه‌های مدل مکانیستیکی یعنی معادله (۲) استفاده می‌شود. بر این اساس، ابتدا معادله (۴) $d = \exp(bt_{max})$ را تعریف نموده، سپس پراسنجه‌های مدل مکانیستیکی براساس معادلات زیر محاسبه شد:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{b(d-1)}{d+1} && \text{(۵) نرخ ذاتی تولد} \\ \delta &= \frac{b^2}{2N_{max}} && \text{(۶) نرخ مرگ} \\ N_0 &= \frac{4dN_{max}}{(1+d)^2} && \text{(۷) جمعیت اولیه} \end{aligned}$$

مقدار d با استفاده معادله ۴ معمولاً عددی بزرگ است و پراسنجه b نیز که در معادله شماره ۵ ارائه شده است، تخمین دقیقی از نرخ تولد در معادله ۲ است. بر این اساس، تخمین دقیق تراکم تجمعی با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$K = \frac{4N_{max}}{b} \quad (۸)$$

کلیه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

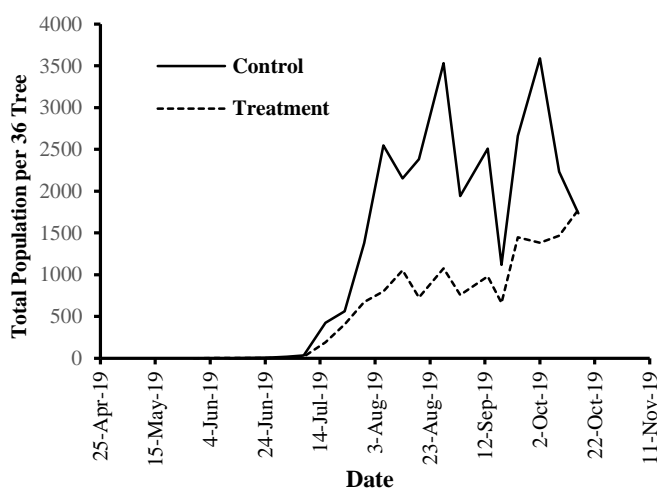
نتایج و بحث

نتایج بررسی‌های حاضر در شهرستان ایوانکی (استان سمنان) در سال زراعی ۹۸ در شکل ۱ نشان داده شده است. این مطالعه از تاریخ اول خرداد ماه ۱۳۹۸ آغاز و به مدت ۵ ماه در باغ‌های مورد مطالعه، ادامه داشت. همانطور که مشاهده می‌شود، در اوایل نمونه‌برداری، جمعیت کل مراحل نابالغ، بسیار پایین است، اما در اواخر تیر ماه، تعداد جمعیت کل مراحل نابالغ افزایش یافت، به طوری که در اوایل شهریور ماه، اولین اوج جمعیت که متعلق به نسل سوم و دومین اوج جمعیت در دهه اول مهر که متعلق به نسل چهارم است، مشاهده می‌شود،

همچنین در باغ‌هایی که مورد تیمار قرار گرفته بودند و باغی که به عنوان شاهد در نظر گرفته شده بود، روند تغییرات جمعیت به طور کلی مشابه بود، با این تفاوت که اندازه جمعیت در باغ شاهد به مراتب بیشتر از باغ‌های تیمار شده بود (شکل ۱). این کاهش جمعیت ناشی از تاثیر تیمارها می‌تواند باشد. چون اسانس‌های روغنی دارای اثرات قابل توجه حشره‌کشی، باکتری‌کشی و قارچ‌کشی می‌باشند (Zabka *et al.*, 2009; Nerio *et al.*, 2010; Pavela, 2011). تاثیر این نوع از اسانس‌ها می‌تواند دورکننده با اثرات کوتاه مدت (Isman, 2000; Nerio *et al.*, 2010; Pavela, 2011)، سمیت حاد (Nerio *et al.*, 2010; Pavela, 2011)، ضدتغذیه‌ای (Pavela, 2011)، کاهش باروری و تغییر رفتار (Pavela, 2008; Pavela *et al.*, 2009b)، در بسیاری از گونه‌های حشرات باشد. برای مثال اسانس‌های روغنی حاصل از بسیاری از گیاهان مانند *Carum carvi* L. و *Thymus vulgaris* L. به عنوان دورکننده پشه‌ها، اسانس *Ferula assafoetida* L. به عنوان یک عامل بازدارنده تخم‌ریزی و ایجاد اختلال در ارگان‌های تولید مثل کرم گلوگاه انار (Barkhordar, 2006; Kamelshahi *et al.*, 2011; Goldansaz *et al.*, 2012) به کار رفته‌اند. اسانس‌های روغنی ممکن است باعث مرگ و میر مستقیم نشوند، اما به طور معنی‌داری باروری، طول عمر، انرژی و ویژگی‌های حیاتی آفات را کاهش می‌دهند (Hummelbrunner & Isman, 2001; Pavela, 2008). برای مثال اسانس *T. vulgaris* با محتوای بالای از تیمول فنل، همچنین در دوزهای زیرکشننده، باعث کاهش معنی‌دار باروری و ویژگی‌های حیاتی حشره (Pavela, 2008; Pavela *et al.*, 2009) و در نتیجه کاهش تراکم جمعیت می‌شود. بنابراین می‌توان بخشی از کاهش چشمگیر جمعیت کرم گلوگاه انار در باغ تیمار نسب به باغ شاهد را ناشی از اثر اسانس آنگوزه دانست که در ابتدای فصل اجازه رشد به جمعیت آفت نمی‌دهد (شکل ۱ و ۲)، چنانکه مطالعه صورت گرفته توسط Peyrovi (2009) در باغ‌های انار استان قم نیز موید این مطلب می‌باشد. سپس ادامه این روند کاهش را می‌توان ناشی از عملکرد دو زنبور انگل‌واره *H. hebetor* و *T. evanescens* دانست. زنبور *H. hebetor* با وجود اینکه در باغ‌های انار وجود دارد (Kishani Farahani *et al.*, 2012) اما تاکنون رهاسازی این زنبور در باغ‌های انار صورت نگرفته است و تنها یک پیش‌آزمون برای بررسی کارایی این زنبور روی کرم گلوگاه در تابستان ۱۳۹۵ در یکی از باغ‌های انار استان اصفهان انجام شده است که طبق آن، متوسط درصد پارازیتیسیم ۲۵ درصد بیان شده است (گلدانساز، داده‌های منتشر نشده)، علاوه بر این، میزان پارازیتیسیم *H. hebetor* روی لارو کرم گلوگاه انار در شرایط نیمه طبیعی (قفس‌های حاوی انار) نیز ۳۶ درصد بیان شده است (Saadat, 2012). اما این زنبور یکی از انگل‌واره‌های نسبتاً پرکاربرد در محیط‌های مختلف زراعی در کشور می‌باشد و طبق آمار سازمان حفظ نباتات کشور، ۷۲ هزار هکتار از مزارع در سال ۱۳۹۸ تحت رهاسازی این زنبور قرار گرفته است. این رقم برای سال ۱۳۹۷ معادل ۹۵ هزار هکتار بوده است. زنبور تریکوگراما نیز سال‌های متمادی، غالباً از ابتدا تا انتهای فصل زراعی، در باغ‌های انار رهاسازی می‌شد، ولی اغلب مورد استقبال باغداران قرار نمی‌گرفت. در مورد زنبور تریکوگراما نیز بر اساس تحقیقات صورت گرفته، فعالیت این زنبور در انتهای فصل زراعی، یعنی از حدود شهریور تا اواخر مهر ماه، در باغ‌های انار، قابل توجه می‌باشد (Mirhashemi *et al.*, 2016). مطالعه حاضر نیز نشان داد فعالیت دو زنبور *H. hebetor* و تریکوگراما در کنار اسانس آنگوزه باعث کاهش جمعیت آفت در باغ تیمار نسبت به باغ شاهد شده است.

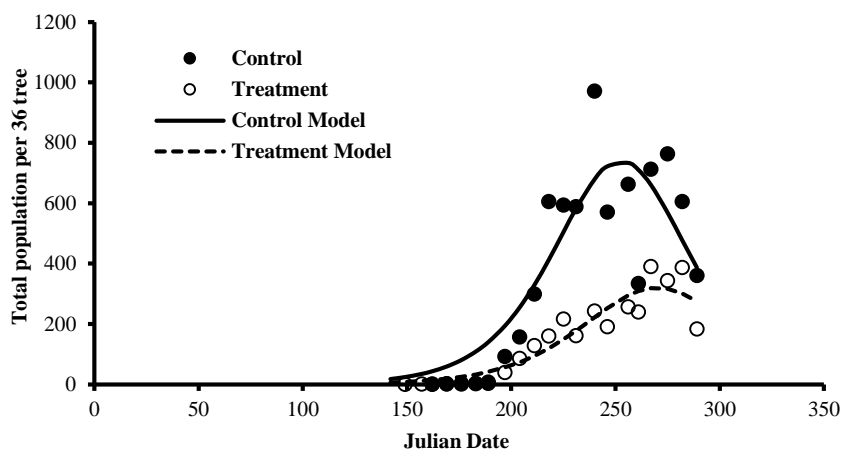
همانطور که در شکل ۱ مشخص است نسل اول و دوم به دلیل پایین بودن فراوانی جمعیت، قابل نمایش در این منحنی نمی‌باشد. این روند با داده‌های ملک-شاهکویی مطابقت دارد. ایشان، بر اساس شکار تله‌های فرمونی در استان گلستان برای این آفت، ۴ نسل در سال تعیین کرده‌اند و اوج جمعیت برای نسل اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۱۹ اردیبهشت، ۱۶ تیر، ۹ مرداد و ۱۹ مهر برای سال ۱۳۹۶ بیان کرده‌اند (داده‌های منتشر نشده). بنابراین

به دلیل فراوانی بیشتر جمعیت، کل مراحل نابالغ در نسل سوم و چهارم از این داده‌ها برای برآزش با مدل (2006) Matis et al. استفاده شد. داده‌ها برای باغ شاهد و تیمار شده بدون در نظر گرفتن نسل، سازماندهی و با مدل مربوطه برآزش شد (شکل ۲). همانطور که مشاهده می‌شود مدل به خوبی برای هر دو سری داده، یعنی باغ شاهد ($F=53.38, df=19, P<0.0001$) و باغ تیمار شده ($F=103.4, df=21, P<0.0001$) برآزش یافت و ضریب تبیین برای هر یک از مدل‌ها به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۵ بود. از ویژگی‌های مهم این مدل این است که با داده‌هایی که در آن اوج جمعیت کم و یا زیاد است و یا دارای اریب می‌باشد، به خوبی برآزش می‌یابد. بر این اساس، این مدل برای بسیاری از اهداف کاربردی قابل استفاده است (Matis et al., 2007b). برای اولین بار فرمول ۲ را Kindlmann (1985)، و راه حل تحلیلی آن را Prajneshu (1998) ارائه و هر دو از آن برای توصیف رشد جمعیت شته‌ها استفاده نموده‌اند. دلایل نظری اینکه چرا پویایی جمعیت شته‌ها به خوبی توسط این مدل توصیف می‌شود مورد بازبینی قرار گرفته است (Matis et al., 2007a). این مدل با موفقیت برای تعدادی از گونه‌های شته، به صورت تجربی تأیید شده و همچنین تطبیق‌پذیری آن برای توصیف منحنی‌های فراوانی شته، مورد بحث قرار گرفته است (Matis et al., 2009). براساس بررسی‌های به عمل آمده، پویایی جمعیت تنها حشره‌ای که به غیر از شته‌ها، توسط این مدل توصیف شده، جمعیت شب‌پره ابریشم باف ناجور (*L. dispar*) بود (Matis & Al-Muhammed, 2010). بنابراین توصیف حاضر از پویایی جمعیت کرم گلوگاه انار دومین حشره به غیر از شته‌ها است. بنابراین جای تعجب نخواهد بود، اگر این مدل عمومی با موفقیت اندازه جمعیت سایر گونه‌ها حتی اگر پویایی جمعیت آنها کاملاً متفاوت از پویایی جمعیت شته‌ها باشد را توصیف نمایند. بدیهی است برای توصیف پویایی جمعیت، برآزش مدل، اولین قدم است و با استفاده از پراسنجه‌های مدل، به عنوان متغیر پاسخ می‌توان اثرات عوامل مختلف بر پویایی جمعیت را نشان داد، همانطور که Matis et al. (2008) اثرات تغذیه بر پویایی جمعیت شته و (Matis & Al-Muhammed, 2010) اثرات عوامل محیطی بر پویایی جمعیت شب‌پره ابریشم باف ناجور را مورد بررسی قرار داده‌اند، در مطالعه حاضر نیز نقش مبارزه بر جمعیت کل مراحل نابالغ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی در شکل ۲ و جدول ۱ آمده است.



شکل ۱- تغییرات جمعیت کل مراحل نابالغ کرم گلوگاه انار، *Ectomyelois ceratoniae* در باغ‌های انار تحت تیمار کنترل جمعیت و شاهد

Fig. 1. Population fluctuation of total immature stages of *Ectomyelois ceratoniae* in pomegranate orchards under population control treatment and check



شکل ۲- مدل رشدی جمعیت کرم گلوگاه *Ectomyelois ceratoniae* در باغ‌های انار تحت تیمار مهار جمعیت و شاهد

Fig. 2. Population growth model of *Ectomyelois ceratoniae* in pomegranate orchards under population control treatment and check

جدول ۱- تخمین پراسنجه‌های رگرسیون (N_{max} , t_{max} , b) و پراسنجه‌های مدل مکانیستیکی (λ , δ , μ و N_0) برای باغ‌های شاهد و تیمار

Table 1. Regression parameters (N_{max} , t_{max} , b) and mechanical model parameters (λ , δ , μ and N_0) estimates for control and treatment gardens

Parameters	Garden	
	Control (mean±S.E.)	Treatment (mean±S.E.)
N_{max} (No.)	738.2±76.05	320±21.649
t_{max} (day)	252.5±4.32	270±5.543
b (No./day)	0.0464±0.008	0.0414±0.006
λ birth rate (Total Immature/day)	0.0464	0.0414
δ death rate (Total Immature/day)	0.0000015	0.0000027
μ death rate (Total Immature/day)	0.000032	0.000065
N_0 (No.)	0.024	0.018
K (No.)	63637.93	30917.83

همانطور که مشاهده می‌شود جمعیت کل مراحل نابالغ در باغ شاهد بیش از دو برابر جمعیت کل مراحل نابالغ در باغ تیمار است (شکل ۲). همچنین کلیه پراسنجه‌های مدل شامل: اندازه جمعیت در اوج (N_{max}) که نشان‌دهنده حداکثر جمعیت بوده و از نظر اکولوژیکی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد در باغ شاهد ۲۳ برابر باغ تیمار می‌باشد، به عبارت دیگر در مفهوم پویایی جمعیت کرم گلوگاه انار مبارزه با این آفت سبب کاهش جمعیت آن شده است. در زمان اوج جمعیت (t_{max}) که نشان‌دهنده مدت زمان لازم برای رسیدن به حداکثر آلودگی می‌باشد تفاوت بارزی بین باغ شاهد و تیمار وجود ندارد و فقط ۱۸ روز تفاوت در باغ تیمار شده مشاهده می‌شود. b نرخ تولد سرانه می‌باشد که در مفهوم پویایی جمعیت کرم گلوگاه انار می‌توان آن را برابر با نرخ ظهور جمعیت کل مراحل نابالغ دانست در باغ تیمار شده ۲۰ درصد کمتر از باغ شاهد می‌باشد، به عبارت دیگر وقتی مبارزه با کرم گلوگاه انار صورت گرفته، نرخ ظهور ۲۰ درصد کاهش یافته است.

همانطور که در روش کار بیان شد براساس پراسنجه‌های مدل Matis et al. (2006) می‌توان پراسنجه‌های مدل مکانیستیکی را تخمین زد، که عبارتند از نرخ تولد سرانه (λ) که با مقدار پراسنجه b تفاوت ندارد. نرخ مرگ

δ که در مفهوم پویایی جمعیت کرم گلوگاه انار می‌توان آن را برابر با نرخ کاهش جمعیت در نظر گرفت، که در باغ تیمار مقدار آن دو برابر باغ شاهد است، یا به عبارت دیگر سرعت کاهش جمعیت در باغ تیمار دو برابر باغ شاهد می‌باشد. K که نشان‌دهنده فراوانی تجمعی است در باغ شاهد دو برابر باغ تیمار می‌باشد (جدول ۱). هر یک از این پراسنجه‌ها (اندازه جمعیت در اوج و زمان رسیدن به اوج جمعیت) که به آن اشاره شد تنها دارای مفهوم اکولوژیکی هستند، بلکه به راحتی با استفاده از مدل Matis et al. (2006) قابل تخمین هستند و بدیهی است اگر چنین مدلی وجود نداشت ما نمی‌توانستیم پراسنجه‌های مدل مکانیستیکی (نرخ تولد سرانه، نرخ مرگ و فراوانی تجمعی) را تخمین بزنیم (Matis & Al-Muhammed, 2010). و استنتاج لازم برای تاثیر تیمار بر جمعیت کرم گلوگاه انار را بدست آوریم.

این بررسی نشان داد که مدل Matis et al. (2006) را می‌توان برای سایر حشرات نیز بکار برد همچنان‌که (Matis & Al-Muhammed, 2010) برای تفسیر پویایی جمعیت شب‌پره ابریشم باف ناجور از آن استفاده کرده‌اند.

سپاسگزاری

این طرح به شماره ۹۷۰۰۴۱۲۹ با پشتیبانی مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است. بدین وسیله از کلیه مسئولین ذیربط قدردانی بعمل می‌آید. همچنین از باغداران محترم منطقه ایوانکی به ویژه آقای سرهنگی تشکر و قدردانی بعمل می‌آورد.

References

- Barkhordar, B.** (2006) Investigation of behavioral responses of adult Carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lep.: Pyralidae), to *Ferula assafoetida* (Apiaceae) essential oil. M.Sc. Dissertation, University of Tehran, Karaj, Iran.
- Barlow, N. D. & Dixon, A. F. G.** (1980) *Simulation of Lime Aphid Population Dynamics*. Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands.
- Goldansaz, S. H., Talaei, L., Poorjavad, N. & Dehghani, H.** (2012) Inhibition of carob moth damage using *Ferula assafoetida* essential oil in pomegranate orchards of Iran. 2th *International Symposium on the Pomegranate* 103, 129–131.
- Hummelbrunner, L. A. & Isman, M. B.** (2001) Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on tobacco cutworm *Spodoptera litura* (Lep., Noctuidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2), 715–720.
- Isman, M. B.** (2000) Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection* 19, 603–608.
- Kamelshahi, G., Goldansaz, S. H. & Hosseinaveh, V.** (2011) *Ferula assafoetida* essential oil disrupts some reproductive behaviour of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* under field and laboratory conditions. *The 6th Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology*, Beijing, China, p 87.
- Kindlmann, P.** (1985) A model of aphid population with age structure. pp. 72-77. In Caspasso, V., Grosso, E., Paveri-Fontana, S. L. (Eds.), *Mathematics in Biology and Medicine*. Proceedings, Bari, 1983, Lecture Notes in Biomathematics. Springer, Berlin,

- Kishani Farahani, H., Goldansaz, S. H. & Sabahi, Q.** (2012) A survey on the overwintering larval parasitoids of *Ectomyelois ceratoniae* in three regions in Iran. *Crop Protection* 36, 52-57.
- Matis, J. H., Kiffe, T. R., Renshaw, E. & Hassan, J.** (2003) A simple saddlepoint approximation for the equilibrium distribution of the stochastic logistic model of population growth. *Ecological Modelling* 161(3), 239-248.
- Matis, J. H. & Kiffe, T. R.** (2004) On stochastic logistic population growth models with immigration and multiple births. *Theoretical Population Biology* 65(1), 89-104.
- Matis, J. H., Kiffe, T. R., Matis, T. I. & Stevenson, D.E.** (2006) Application of population growth models based on cumulative size to pecan aphids. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 11(4), 425-449.
- Matis, J. H., Kiffe, T. R., Matis, T. I., Jackman, J. A. & Singh, H.** (2007a) Population size models based on cumulative size, with application to aphids. *Ecological Modelling* 205, 81-92.
- Matis, J. H., Kiffe, T. R., Matis, T. I., & Stevenson, D. E.** (2007b) Stochastic modeling of aphid population growth with nonlinear, power-law dynamics. *Mathematical biosciences*, 208(2), 469-494.
- Matis, J. H., Kiffe, T. R., Matis, T. I., Jackman, J. A., Grant, W. E. & Singh, H.** (2008) On the use of growth rate parameters for projecting population sizes: Application to aphids. *Ecological Modelling* 213, 133-142.
- Matis, J. H., Kiffe, T. R., van der Werf, W., Costamagna, A. C., Matis, T. I. & Grant, W. E.** (2009) Population dynamics models based on cumulative density dependent feedback: A link to the logistic growth curve and a test for symmetry using aphid data. *Ecological Modelling* 220 (15), 1745–1751.
- Matis, J. H. & Al-Muhammed, M. J.** (2010) Theory and application of the logistic probability density function as a population growth model. *Damascus University Journal for Basics Science* 26(1), 9–19.
- Matis, J. H. & Kiffe, T. R.** (2012) *Stochastic population models: A compartmental perspective*. Lecture Notes in Statistics, Vol. 145. Springer-Verlag, New York, 202 pp.
- Mirhashemi, H., Poorjavadi, N. & Goldansaz, S. H.** (2016). Seasonal fluctuations in oviposition of carob moth, *Ectomyelois ceratoniae*, and its parasitism by *Trichogramma* wasps in Isfahan. In: *Proceedings of 22nd Iranian Plant Protection Congress*, 27-30 August, (pp. 647). College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, IRAN.
- Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J. & Stashenko, E.** (2010) Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource Technology* 101, 372–378.
- Pavela, R.** (2008) Acute and synergistic effects of some monoterpene essential oil compounds on the house fly (*Musca domestica* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*

11, 451–459.

- Pavela, R., Vrchotova, N. & Triska, J.** (2009) Mosquitocidal activities of thyme oils (*Thymus vulgaris* L.) against *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research* 105 (5), 1365–1370.
- Pavela, R.** (2011) Insecticidal and repellent activity of selected essential oils against of the pollen beetle, *Meligethes aeneus* (Fabricius) adults. *Industrial Crops and Products* 34, 888–892.
- Peyrovi, M.** (2009) A study on repellency effect of *F. assafoetida* essential oil, on adult carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lep.: Pyralidae), and some other insects, under natural conditions. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Karaj, Iran.
- Prajneshu, C. S.** (1998) A nonlinear statistical model for aphid population growth. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics* 51, 73–80.
- Ranjbar, M., Sendi, J. J. & Zibae, A.** (2011) Proteolytic activity in the midgut of *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), pomegranate carob moth. *ISJ-Invertebrate Survival Journal* 8, 132–142.
- Renshaw, E.** (1991) *Modelling biological populations in space and time*. Cambridge University Press, New York, USA, 403 pp.
- Saadat, D.** (2012) Effect of biotic and abiotic factors on biological and behavioural characteristic of *Habrobracon hebetor* Say (Hym: Braconidae) as carob moth parasitoid in laboratory conditions and efficacy of the wasp in semi natural conditions. M.Sc. Dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- Shakeri, M.** (2004) A review on investigations on pomegranate neck worm in Iran, pp. 18–30. In: *A proceeding on evaluation of finding and current problems associated with Spectrobates ceratoniae management in pomegranate*. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Organization of Research and Education, Yazd Agriculture and Natural Resources Research Center, Iran.
- Soufbaf, M., Salehi, B., Kalantarian, N., Zanganeh, A. H., Fathollahi, H., Babaei, M. & Ahari Mostafavi, H.** (2017) Is sterile insect technique's efficiency affected by pomegranate variety in mixed cultivars? New insights from a case study on the carob moth, *Apomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) in Iran. *Oriental Insects* 52, 1–11.
- Turchin, P.** (2003) *Complex population Dynamics: A Theoretical/Empirical Synthesis*. Princeton University Press, New Jersey, USA, 472 pp.
- Warner, R. L., Barnes, M. M., Laird, E. F. & Lanham, M. D.** (1990) Chemical control of carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae), and various nitidulid beetles (Coleoptera) on 'Deglet Noor' dates in California. *Journal of Economic Entomology* 83, 2357–2361.
- Zabka, M., Pavela, R. & Slezakova, L.** (2009) Antifungal effect of Pimenta dioica essential oil against dangerous pathogenic and toxinogenic fungi. *Industrial Crops and Products* 30 (2), 250–253.
-