

**مدل های همه گیرشناسی *Beauveria bassiana* (Balasamo) Vuillemin در جمعیت شیشه دندانه دار *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) در شرایط تغذیه از خرما**مسعود لطیفیان<sup>۱</sup>، ابراهیم سلیمان نژادیان<sup>۲</sup> و مهران غزوی<sup>۳\*</sup>

۱. پژوهشکده خرما و میوه های گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۲. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۳. موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۱۱)

**چکیده**

قارچ *Beauveria bassiana* یکی از عوامل کنترل میکروبی شیشه دندانه دار *Oryzaephilus surinamensis* می باشد. در این تحقیق به منظور بررسی همه گیرشناسی عامل بیمارگر، شیشه دندانه دار درون انسکتاریوم های حاوی خرما پرورش داده شد. خرما قبل از انتقال به انسکتاریوم با غلظت کشنده ۵۰٪ قارچ *B. bassiana* تیمار شد. نمونه برداری ها در طول ۲۵ هفته انبارداری انجام و جمعیت میزبان در ۱۲ گام محاسبه گردید. تغییرات گروه های جمعیتی بر اساس مدل های عمومی، اس-آی-ار<sup>۱</sup> و آندرسون و می<sup>۲</sup> محاسبه شد. در شرایط شاهد و بیماری مدل رشد لجستیک برازش مناسبی از رشد جمعیت نشان داد. مقایسه کارایی مدل های مختلف نشان داد که مدل آندرسون و می در بیان ارتباطات مختلف جمعیت ها با عامل بیمارگر موفق تر از مدل های عمومی و اس-آی-ار عمل می کند. در منحنی تغییرات تراکم جمعیت آفت در خرما تیمار شده یک روند سینوسی مشاهده شد به گونه ای که تراکم جمعیت در مرحله "پیش همه گیری" افزایش یافته تا به نقطه اوج منحنی که زمان وقوع همه گیری بود، رسید. پس از آن در مرحله "پس همه گیری" روند کاهشی در منحنی تراکم جمعیت آفت ثبت شد. در دوره انبارداری چهار موج ثبت گردید که نشان دهنده پنج دوره همه گیری در جمعیت آفت بود. نقاط اوج این موج ها در هفته های سوم، سیزدهم، بیست و یکم و بیست و سوم واقع شده بود. طولانی ترین دوره، دوره دوم بود که حدود ۱۲ هفته و کوتاه ترین موج همه گیری بود.

**واژه های کلیدی:** قارچ بیمارگر *Beauveria bassiana* *Oryzaephilus surinamensis*، محصول انباری، پویایی جمعیت.**The Epizootic models of *Beauveria bassiana* in Sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* populations feeding on date fruits**Masoud Latifian<sup>1</sup>, Ebrahim Soleiman Nejadian<sup>2</sup> and Mehran Ghazavi<sup>3\*</sup>

1. Associate Professor, Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran

2. Professor, Department of Plant protection, College of Agriculture, Chamran University, Ahwaz, Iran

3. Associate Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

(Received: January 30, 2017 - Accepted: September 2, 2017)

**ABSTRACT**

*Beauveria bassiana* is one of the microbial control agents of sawtoothed beetle *Oryzaephilus surinamensis*. In order to study the epizootiology of the entomopathogen in *O. surinamensis* population, beetles were reared in insectaria filled with date fruits. Before the transfer of the insects, date fruits were treated with 50% lethal dose of *B. bassiana*. Samplings of different life stages of the beetle were done during a 25 week period. The population density of *O. surinamensis* was estimated in 12 steps. The population fluctuations of the different beetles' life stages were estimated using SIR (Susceptible, Infected and Recovered), Anderson and May and general models. In treated and untreated populations, logistic growth model fitted well to population growth. Comparison of different models showed that the Anderson and May model explain better the various relationships between the populations and the pathogen. A sigmoid trend was observed in the population fluctuation curve in the treated populations, so that the population density of diseased individuals in prepizootic phase increased until attaining the peak where the epizooty took place. Thereafter, the postepizootic phase begun with a drop in the density of the affected individual. Five epizootic waves recorded during the sampling period showing the occurrence of five epizootic periods. The peaks of these epizootic waves were recorded in the weeks 3, 13, 21 and 23. The 2<sup>nd</sup> period was the longest one that lasted 12 weeks being the shortest epizootic wave recorded.

**Keywords:** Entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana*, *Oryzaephilus surinamensis*, Store Product, Population Dynamics.

1. Susceptible, Infected and Recovered model

2. Anderson and May Model

\* Corresponding author E-mail: mehr729@yahoo.com

### تازه‌های تحقیق

- ۱- محاسبه تغییرات جمعیت شپشه‌دنداندار تحت تاثیر قارچ *B. bassiana* در طول مدت شش ماه انبارداری.
- ۲- تعیین مدل رشد لجستیک به عنوان مناسب‌ترین مدل برای محاسبه نرخ رشد جمعیت شپشه دنداندار بیمار و سالم.
- ۳- ارزیابی مدل‌های مختلف دینامیسم همه‌گیرشناسی بیماری قارچی در جمعیت شپشه دنداندار و تعیین مدل اندرسون و می به عنوان کاراترین آن‌ها.

### مقدمه

یکی از مهمترین آفات انباری خرما شپشه دنداندار (*Oryzaephilus surinamensis* (Coloeoptera: Silvanidae) می‌باشد (Latifian 2003, Blumberg 2008). قارچ بیماریارگر *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) به‌طور طبیعی در خاک‌های سراسر جهان رشد می‌کند. این قارچ موجب بیماری موسکار دین سفید در برخی بندپایان می‌شود و به عنوان یک حشره کش بیولوژیک برای کنترل تعدادی از آفات مانند مورپانه‌ها، تریپس‌ها، سفیدبالک‌ها، شته‌ها و سوسک‌های مختلف استفاده شده است (Hibbett et al. 2007). مطالعات اولیه نشان داده است که در انبارهای خرما امکان استفاده از قارچ *B. bassiana* نیز علیه شپشه دنداندار وجود دارد (Bartett and Jaronski 1988). قارچ *B. bassiana* به نسبت  $3 \times 10^5$  کنیدی در متر مکعب در شرایط انبارداری خرما می‌تواند تا ۹۶ درصد جمعیت (*Cardacautella* Walk (Lep: Pyralidae) را کاهش دهند (Jassim et al. 1998). در یک مطالعه مشخص شد که قدرت قارچ *B. Bassiana* برای کنترل انواع آفات انباری از جمله *O. surinamensis* بیشتر از سایر قارچ‌های بیماریارگر حشرات از جمله *Metarhiziumanisapliae* Metsch. و *Nomurearileyi* Farlow (Abdel-Raheem et al. 2015). در مطالعه دیگری، برتری *B. Bassiana* در کنترل *O. Surinamensis* نسبت به قارچ *Mattesiaoryzophili* در شرایط انباری نشان داده شده است (Boucias and Pendland 1998). رطوبت نسبی

۷۰ درصد برای شروع همه‌گیری *B. Bassiana* در جمعیت *O. Surinamensis* ضرورت دارد. در چنین شرایطی چنانچه دما مناسب باشد بروز همه‌گیری می‌تواند تا ۹۱ درصد جمعیت لاروها و حشرات کامل آفت را در انبارهای غلات کاهش دهد (James et al. 2003). استفاده از آمار و ریاضی در تدوین مدل‌های همه‌گیرشناسی حشرات از تلاش‌های اخیر دانشمندان همه‌گیرشناسی بیماری‌های حشرات می‌باشد (Latifian 2014). هدف از مطالعات عملی همه‌گیرشناسی بیماری‌های حشرات درک روابط بوم‌شناسی میزبان، عامل بیمارگر و محیط در سطح جوامع اختصاصی می‌باشد (Benz 1987, Gaugler and Kaya 1990, Lilienfeld and Stolley 1994, Fuxa and Tanada 1987). براساس نظر اندرسون مطالعه پویایی همه‌گیری بیماری در جمعیت حشرات حائز اهمیت می‌باشند (Latifian 2014). در مطالعات همه‌گیرشناسی، روابط میزبان و عامل بیمارگر زمانی به نقطه تعادل می‌رسد که تغییرات جمعیت میزبان دارایدوره نوسانات کوتاه باشد، همچنین یک عامل بیمارگر با توانایی بقای کمتر از یک فصل در صورتی می‌تواند جمعیت میزبان خود را در نسل‌های بعدی تنظیم کند که قابلیت انتقال عمودی داشته باشد (Boucias and Pendland 1998).

تلفیق استفاده از شبیه‌سازی و تحقیقات عملی راه حل مناسبی برای به‌دست آوردن اطلاعات کافی پیرامون پویایی همه‌گیرشناسی بیماری‌های حشرات می‌باشد. رسیدن به این هدف دارای مراحل شامل جمع‌آوری داده‌ها، توسعه مدل، آزمون و به‌کارگیری نتایج در تحقیقات بعدی می‌باشد (Kermack Butt et al. 1988, Mckendrick 1927). در سال‌های اخیر بررسی‌هایی در رابطه با نحوه تأثیر قارچ‌های بیماریارگر در جمعیت حشرات با استفاده از روش همه‌گیرشناسی انجام شده است. از جمله نحوه انتقال و همه‌گیرشناسی قارچ *Pandoraneoaphidis* Remaud & Hennebert دورن کلنی‌های شته *Myzusperiscae* Sulzer نیز بررسی شده است. پیشرفت بیماری در کلنی‌های شته با استفاده از مدل لجستیک مطالعه شد و شاخص‌های مؤثر در همه‌گیری بیماری شامل فاصله پرواز، زمان بقای پس از پرواز، میزان باروری و آلودگی اولیه به‌عنوان متغیرهای

تأثیرگذار در همه‌گیری بیماری تشخیص داده شد (Chun and Ming-Guang 2005). همه‌گیرشناسی قارچ *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) لاروهای شب پره خفاشی هیمالایا *Hepialusa armoricanus* Oberthür نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (Bikash 2017). یافته‌های این تحقیقات برای کشف اثرات متقابل عامل بیمارگر، آفت و عوامل محیطی در بروز همه‌گیری و در مکانیسم‌های مربوط به کنترل بیولوژیک توسط عوامل بیمارگر قارچی قابل استفاده است. مطالعه چند جدایه ایرانی از قارچ *B. bassiana* رویش‌پشه دنداندار خرما *O. surinamensis* انجام شده است (Latifian et al. 2010). نتایج مطالعات نشان داده که کمینه دما برای جوانه‌زنی و رشد میسلیومی در تمام جدایه‌ها پنج درجه سلسیوس و بیشینه دما ۳۵ درجه سلسیوس می‌باشد. مناسب‌ترین دما برای فعالیت جدایه IRAN 441C حرارت ۲۵ درجه سلسیوس بود (Latifian et al. 2009). کمترین  $LC_{50}$  نیز مربوط به این جدایه روی حشرات کامل و لارو بود. نتایج تحقیقات همچنین نشان داد که غلظت‌های زیرکشنده قارچ *B. bassiana* دارای اثرات معنی‌داری در کاهش قدرت تولید مثل آفت بوده‌اند. توانایی این عامل بیمارگر در کاهش قدرت تولید مثل آفت علاوه بر غلظت قارچ به رقم خرما می‌مورد تغذیه آفت نیز بستگی داشت. کمترین و بیشترین غلظت زیرکشنده برای کاهش ۵۰ درصد میزان تخم‌گذاری به ترتیب مربوط به جمعیت پرورش یافته روی رقم زاهدی و دیری و معادل  $1.03 \times 10^3$  و  $4.963 \times 10^3$  اسپور در میلی‌لیتر بود. کمترین و بیشترین غلظت زیرکشنده برای کاهش ۵۰ درصد تفریح تخم به ترتیب مربوط به جمعیت پرورش یافته روی رقم زاهدی و سایر و معادل  $6.316 \times 10^3$  و  $8.28 \times 10^3$  اسپور در میلی‌لیتر بود (Latifian et al. 2010a). قارچ توانایی انتقال افقی و بین نسلی در جمعیت شیشه دنداندار در شرایط تغذیه از ارقام مختلف خرما را دارد. بالاترین قدرت انتقال افقی در شرایطی بود که جمعیت حشرات آلوده و حساس در مرحله رشدی حشره کامل بودند (Latifian et al. 2012).

در این پژوهش همه‌گیرشناسی مناسب‌ترین جدایه قارچ *B. bassiana* در جمعیت شیشه دنداندار *O.*

## مواد و روش‌ها

### پرورش میزبان

مراحل مختلف رشدی شیشه دنداندار با نمونه‌برداری از خرماهای آلوده از انبارهای خرما استان خوزستان جمع‌آوری شد. پرورش آفت در دمای  $27 \pm 5$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $60 \pm 5$  درصد درون اتاقک رشد و درون ظروف پلاستیکی دردار به ابعاد  $8/5 \times 7/5$  سانتی‌متر که در قسمت در آن‌ها سوراخی جهت تهویه در نظر گرفته شده بود بر روی خرما (Phoenix *dactylifera* L.) رقم سایر (Sayer) انجام گرفت.

### کشت و آماده‌سازی قارچ بیمارگر

در این تحقیق از جدایه IRAN 441C قارچ *B. bassiana* استفاده شد. قارچ بیمارگر از موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه شد. این جدایه از منطقه سراوان جمع‌آوری گردیده که رنگ پرگنه آن سفید بوده و پس از اسپوردهی به رنگ صورتی کم رنگ دیده می‌شود. جدایه قارچی مورد نظر در محیط کشت SDAY<sup>3</sup> کشت گردید. بعد از اسپورزایی کامل (کشت ۱۲-۱۴ روزه) سطح محیط کشت بوسیله اسکالپل انتقال خراش داده شد. اسپورها در داخل ظرف‌های ارلن جداگانه‌ای که حاوی ۱۰ سانتی‌متر مکعب آب مقطر استریل با ۰/۰۵ درصد توئین ۸۰ بود جمع‌آوری گردید (Ghazavi et al. 2002, Jenkins et al. 1998). سوسپانسیون فوق به‌منظور پراکنده شدن یکنواخت اسپورها در داخل آن به مدت ۵ دقیقه بطور پاندولی به‌هم زده شد (Thomas et al. 1987). جهت شمارش اسپورها و تهیه تراکم‌های مختلف اسپور در واحد حجم از لام گلبول شمار<sup>۴</sup> استفاده شد. برای آزمون زنده‌مانی اسپور روز قبل از آزمایش مقدار اندکی از اسپورهای مورد آزمایش به صورت استریل درون محلول ۰/۰۵ درصد توئین ۸۰ به

3. Suberbed Dextrose Agar + Yeast extract  
4. Improved Neubar

کشنده ۵۰ درصد ( $10^4 \times 1/5$  کنیدیوم در میلی‌لیتر) بود (Latifian *et al.* 2010b) و سه ظرف دیگر بدون آلوده-سازی (به‌عنوان شاهد) در نظر گرفته شد. درون هر یک از انسکتاریوم‌ها ۵۰۰ عدد حشره کامل که کمتر از یک هفته از سن آن‌ها سپری شده بود به‌عنوان جمعیت اولیه منتقل گردید به‌طوری که به ازای هر حبه خرما یک عدد سوسک در نظر گرفته شد. انسکتاریوم‌ها در شرایط آزمایشگاهی و با متوسط دمای  $27 \pm 5$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $5 \pm 40$  درصد به مدت شش ماه که معادل حداکثر مدت زمان انبارداری مجاز خرما بود نگهداری شدند. تنظیم دما توسط سیستم سرمایش و گرمایش قابل تنظیم در دمای ثابت و ثبت رطوبت با رطوبت سنج دیجیتالی موجود در آزمایشگاه انجام می-گرفت. نمونه‌برداری از انسکتاریوم‌ها به فواصل هر هفته یک‌بار انجام می‌گرفت.

برای هم‌سن‌سازی تعداد ۱۰۰۰ عدد شفیله انتخاب شده و یک هفته بعد از میان آنها تعداد ۵۰۰ عدد حشره کامل برای هر انسکتاریوم جداسازی شد.

حالت تعلیق در آمده و روی محیط SDAY کشت شد و روز بعد فقط از کشت‌هایی استفاده شد که بیش از ۸۵ درصد اسپورهای آن جوانه زده بودند (Jenkinset *al.* 1998).

### بررسی پویایی همه‌گیری بیماری در جمعیت میزبان

برای انجام آزمایش‌ها از انسکتاریوم‌های شیشه‌ای که شبیه استوک نگهداری خرما در انبار بودند، استفاده گردید. این انسکتاریوم‌های شیشه‌ای به ابعاد  $100 \times 50 \times 5$  سانتی‌متر بودند. در یک طرف از سطوح عمودی ۹ سوراخ در سه ردیف ارتفاعی مختلف به فواصل ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شده و بوسیله درپوش مخصوص کاملاً مسدود گردید (شکل ۱). درون هر یک از انسکتاریوم‌ها با خرمای رقم سایر (Sayer) حدود ۵۰۰ حبه ۲۰ گرمی پر شد. برای آزمایش شش انسکتاریوم در نظر گرفته شد که سه ظرف از آن‌ها حاوی خرمای تیمار شده با قارچ با غلظت



شکل ۱. انسکتاریوم مورد استفاده در بررسی پویایی همه‌گیرشناسی بیماری در جمعیت شیشه‌دنداندار *O. surinamensis*

Fig 1. Insectarium used to study the dynamics of the epizootiology of disease in the population of sawtoothed beetle, *O. surinamensis*

سه نمونه برداشت می‌شد. نمونه‌های برداشت شده حامل مراحل مختلف رشدی آفت بودند. برای ارزیابی دقیق تراکم مراحل مختلف رشدی آفت درون نمونه‌ها از قیف تر به شرح زیر استفاده گردید. برای رسیدن به این هدف

نمونه‌برداری از جمعیت آفت درون انسکتاریوم‌ها برای نمونه‌برداری از هر ارتفاع در هر ردیف یک سوراخ به‌صورت تصادفی انتخاب شده و یک نمونه که معادل ۲۰ گرم خرما بود، برداشت می‌گردید. از هر انسکتاریوم

**گام دوم:** محاسبه جمعیت حساس (X) (رابطه ۲) می‌باشد. در این مرحله نیاز به محاسبه ضریب حساسیت یا (C) است که از طریق آزمایش‌های زیست‌سنجی ارزیابی شد و معادل  $1-D$  می‌باشد. (D) ضریب ناگیری جمعیت بوده که عبارت است از توانایی عدم ابتلا به بیماری توسط جمعیت و میزان مقاومت جمعیت را در مقابل بروز همه‌گیری نشان می‌دهد. در مطالعات قبلی مقدار آن برای مرحله رشدی لارو و حشره کامل به ترتیب معادل  $0/07$  و  $0/074$  برآورد شده است (Latifian et al., 2009, 2010a). متوسط این دو مقدار را به عنوان ضریب حساسیت جمعیت در این مطالعه نظر گرفته و با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$C = (C_{Larvae} + C_{Adult}) / 2 = [(1 - D_{Larvae}) + (1 - D_{Adult})] / 2$$

$$X = H.C \quad (2)$$

**گام سوم:** محاسبه (Y) (رابطه ۳) که تعداد افراد آلوده شده می‌باشد. برای ارزیابی آن از متوسط ضریب انتقال (V) از یک مرحله رشدی به مرحله رشدی دیگر استفاده شد. که بر اساس مطالعات قبلی معادل  $0/99$  بوده است (Latifian et al., 2012). بنابراین برای محاسبه تعداد افراد آلوده شده خواهیم داشت:

$$Y = X.V \quad (3)$$

**گام چهارم:** محاسبه جمعیت وارد شده به مرحله بهبود (Z) (رابطه ۴) که معادل تفاضل جمعیت در فواصل زمانی متوالی در شرایط خرمای آلوده می‌باشد.

$$Z = N_{t+1} - N_t \quad (4)$$

**گام پنجم:** میزان مرگومیر (M) (رابطه ۵) که تفاضل دو جمعیت حساس و جمعیت وارد شده به دوره بهبود در هر مقطع زمانی بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Goettel et al., 2005).

$$M = Y - Z \quad (5)$$

هر گرم خرمای نمونه برداری شده از هر انسکتاریوم (شامل ظروف آلوده به قارچ و شاهد)، به صورت جداگانه به درون یک ظرف ارلن  $250$  میلی لیتری منتقل شده و سپس  $20$  گرم کلرید سدیم،  $30$  میلی لیتر سود سوزآور و  $40$  میلی لیتر آب به آن اضافه می‌شد. جهت رنگ آمیزی نمونه‌ها  $5$  میلی لیتر متیلن بلو نیز به مخلوط حاصله اضافه می‌شد. مخلوط حاصله را به دستگاه همزن حرارتی منتقل نموده تا مخلوط به جوش آید. پس از گذشتن  $2$  دقیقه از جوشیدن مخلوط، آن را از صافی عبور داده تا تفاله‌های خرما جدا شود. بافت کیتینی و مقاوم مراحل مختلف رشدی آفت مراحل قبلی را تحمل نموده و همراه با صاف کردن به ارلن جدید منتقل گردید. مقدار  $40$  سانتی متر مکعب نفت بی‌بو به ارلن اضافه می‌شد. این عمل موجب می‌گردید که حشرات به دلیل بافت کیتینی غیر قطبی بین دو فاز قطبی (کلرید سدیم، سود سوزآور و آب) و غیر قطبی (نفت بی‌بو) متمرکز گردند. سپس با استفاده از قیف جداکننده این فاز بینابینی که حامل مراحل رشدی جمعیت آفت بود، جدا شده و به کمک استریومیکروسکوپ جمعیت مراحل مختلف رشدی شمارش شدند.

### محاسبه گروه‌های جمعیت میزبان

جمعیت سوسک‌های موجود در توده خرمای آلوده از نظر نحوه ارتباط متقابل با عامل بیمارگر به شش گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از کل جمعیت میزبان (H)، جمعیت حساس (X)، جمعیت آلوده شده (Y)، جمعیت در مرحله بهبود (Z) و جمعیت ناقل (W) که بر اساس مراحل زیر تفکیک می‌شوند (Feng et al., Ewald 1987, Jaques 1990, 1985).

**گام اول:** محاسبه H (رابطه ۱) شامل کل جمعیت شیشه‌دنداندار در مراحل مختلف رشد می‌باشد که در شرایط عادی در واحد حجم توده خرما توانایی بقا دارند و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$H = N_{egg} + N_{Larvae} + N_{Pupae} + N_{Adult} \quad (1)$$

در این رابطه  $N_{egg}$ ,  $N_{Larvae}$ ,  $N_{Pupae}$ ,  $N_{Adult}$  به ترتیب تراکم جمعیت حشرات کامل، شفیره، لارو و تخم در واحد حجم نمونه برداری می‌باشد.

**گام نهم:** ضریب ایجاد مرگومیر در اثر بیماری " $\mu$ " نیز معادل شیب تغییرات ( $M$ ) (مرگومیر) در طول دوره انجام آزمایش‌ها بوده که معادل ضریب معادله رگرسیون خطی بین ( $M$ ) به‌عنوان عامل وابسته و  $t$  (زمان) به‌عنوان عامل مستقل است (رابطه ۱۰) (Enarson et al., Kermack and Mckendrick 1927) (2004).

$$M = \mu t + \exists \quad (10)$$

**گام دهم:** ضریب ایجاد آلودگی در جمعیت " $\lambda$ " نیز معادل شیب تغییرات ( $Y$ ) (جمعیت بیمار) در طول دوره انجام آزمایش‌ها بوده که معادل ضریب معادله رگرسیون خطی بین  $Y$  به‌عنوان عامل وابسته و  $t$  (زمان) به‌عنوان عامل مستقل است (رابطه ۱۱) (Brown 1984).

$$Y = \lambda t + \exists \quad (11)$$

**گام یازدهم:** محاسبه نرخ ایمنی ( $q$ ) از طریق آزمایش‌های زیست‌سنجی قابل ارزیابی است (رابطه ۱۲).

$$q = 1 - C \quad (12)$$

و در نهایت نرخ کلی کاهش جمعیت ( $\Gamma$ ) با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه شد.

$$\Gamma = \alpha + b' + \mu \quad (13)$$

**گام دوازدهم:** جمعیت ناقل فعال میزبان ( $W$ ) با استفاده از رابطه ۱۴ محاسبه شد (Enarson et al., 2004; Zelazny and Alfiler 2008).

$$W = \frac{\lambda Y}{v(1 - qY)} \quad (14)$$

**گام ششم:** نرخ رشد جمعیت ( $r$ )، نرخ مرگومیر ( $b$ ) و نرخ تولد ( $a$ ) در شرایط جمعیت شاهد و بیمار با استفاده از مدل رشد لجستیک جمعیت (رابطه ۶) ارزیابی می‌شود (Young and Young 1998).

$$\frac{dN}{dt} = rN - bN^2 = N(r - bN) \quad (6)$$

در این معادله ( $r$ ) نرخ رشد ذاتی جمعیت و معادل  $\mu\lambda$  است و  $b$  شدت مقاومت محیطی است. تراکم از جمعیت که در آن میزان رشد صفر است به ظرفیت محیطی<sup>۵</sup> معروف است و آنرا با  $K$  نمایش می‌دهند. در این معادله  $\frac{r}{b} = K$  است (Jewell 2004, Beaglehole et al. 1994). برای به دست آوردن پارامترهای معادله رشد لجستیک از رابطه ۷ استفاده می‌شود:

$$N = \frac{r}{b + C'e^{-rt}} \quad (7)$$

**گام هفتم:** محاسبه نرخ ایجاد مرگ توسط بیمارگر می‌باشد که معادل تفاضل نرخ مرگومیر در جمعیت شاهد و بیمار است (رابطه ۸).

$$\alpha = b - b' \quad (8)$$

در این رابطه  $b$  و  $b'$  به ترتیب نرخ مرگومیر در جمعیت بیمار و شاهد می‌باشند (Young and Young 1998).

**گام هشتم:** نرخ ورود جمعیت به مرحله بهبود ( $\gamma$ ) معادل شیب تغییرات ( $Z$ ) در طول دوره انجام آزمایش‌ها بوده که معادل ضریب معادله رگرسیون خطی بین  $Z$  به‌عنوان عامل وابسته و  $t$  (زمان) به‌عنوان عامل مستقل است (رابطه ۹) (Wang et al. 2004).

$$Z = \gamma t + \exists \quad (9)$$

$$\frac{dX}{dt} = (a - b)X + (\alpha + \gamma)Y - vWX \quad (17)$$

$$\frac{dY}{dt} = vWX - (\alpha + b + \gamma)Y$$

$$\frac{dW}{dt} = \lambda Y - (\mu + vX + v(1 - q)W)$$

$$\frac{dH}{dt} = rH - \alpha Y$$

### نتایج و بحث

تغییرات جمعیت شپشه‌دندانه‌دار تحت تاثیر قارچ *B. bassiana* در طول مدت شش ماه انبارداری در جدول ۱ نشان داده شده است.

### محاسبه نرخ رشد جمعیت در توده خرماي آلوده و

#### سالم

برای محاسبه نرخ رشد جمعیت از مدل رشد لجستیک جمعیت استفاده شده است منحنی‌های برآزش مدل در توده خرما در شکل ۲ درج گردیده است.

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد در شرایط شاهد و بیماری مدل رشد لجستیک برآزش مناسبی از رشد جمعیت نشان می‌داد. لذا با استفاده از این مدل‌ها نرخ ذاتی رشد ( $r$ )، نرخ تولد ( $a$ )، نرخ مرگومیر ( $b$ ) در شرایط جمعیت شاهد و بیمار محاسبه گردید (جدول ۲).

براساس مدل لجستیک و پارامترهای آن، مقدار رشد و نرخ تولد جمعیت آلوده به قارچ بیمارگر نسبت به جمعیت شاهد به ترتیب به میزان ۶/۳۲ و ۷/۰۴ درصد کاهش و میزان مرگومیر ۳۱/۷ درصد افزایش داشته است، ضرایب همه‌گیرشناسی جمعیت شامل نرخ مرگومیر ( $\alpha$ )، ضریب ورود جمعیت به مرحله بهبود ( $\gamma$ )، ضریب خالص ایجاد مرگومیر در اثر بیماری ( $\mu$ )، ضریب ایجاد بیماری در جمعیت ( $\lambda$ ) و نرخ ایمنی ( $q$ ) و نرخ کلی کاهش جمعیت ( $\Gamma$ ) به ترتیب معادل ۰/۰۰۱۹، ۰/۷۳۳، ۱۸، ۱۸/۷۳، ۰/۰۵ و ۳/۲۸ محاسبه شد.

### مدل‌های همه‌گیری پویایی جمعیت

#### مدل همه‌گیری ساده

چنانچه تعداد افراد آلوده اولیه معرفی شده به جمعیت  $n$  فرد،  $X$  تعداد افراد حساس،  $Y$  تعداد افراد آلوده شده در هر زمان و  $\beta$  نرخ تماس بین افراد در جمعیت باشد، آنگاه در فاصله زمانی  $\Delta t$  تعداد افراد جدید مبتلا برابر با  $\beta XY \Delta t$  است. با افزایش تعداد افراد بیمار، تعداد افراد حساس باقیمانده کاهش می‌یابد. بنابراین تغییرات  $X$  در فاصله زمانی  $\Delta t$  برابر است با  $\Delta X = -\beta XY \Delta t$ . چنانچه فاصله زمانی  $\Delta t$  بسیار کوچک باشد معادله دیفرانسیلی تغییرات جمعیت براساس مدل همه‌گیری ساده به صورت رابطه ۱۵ برآورد می‌گردد (Ewald, 1987, Lai et al. 1982).

$$\frac{dX}{dt} = -\beta(n - X + 1) = -\beta XY \quad (15)$$

#### مدل اس - آی - ار

این مدل از نوع مدل‌های همه‌گیری دوره‌ای می‌باشد. معادلات مدل برای برآورد تغییرات گروه‌های مختلف جمعیتی شپشه‌دندانه‌دار به شرح روابط ۱۶ می‌باشد.

$$\frac{dX}{dt} = r(H + Y) - bx - vHY + \gamma X \quad (16)$$

$$\frac{dY}{dt} = rXY - (\mu + b + \gamma)Y$$

$$\frac{dH}{dt} = rH - \mu X$$

پارامترهای مدل مشابه حالات قبل تعریف گردیده‌اند (Jackson et al. 2010).

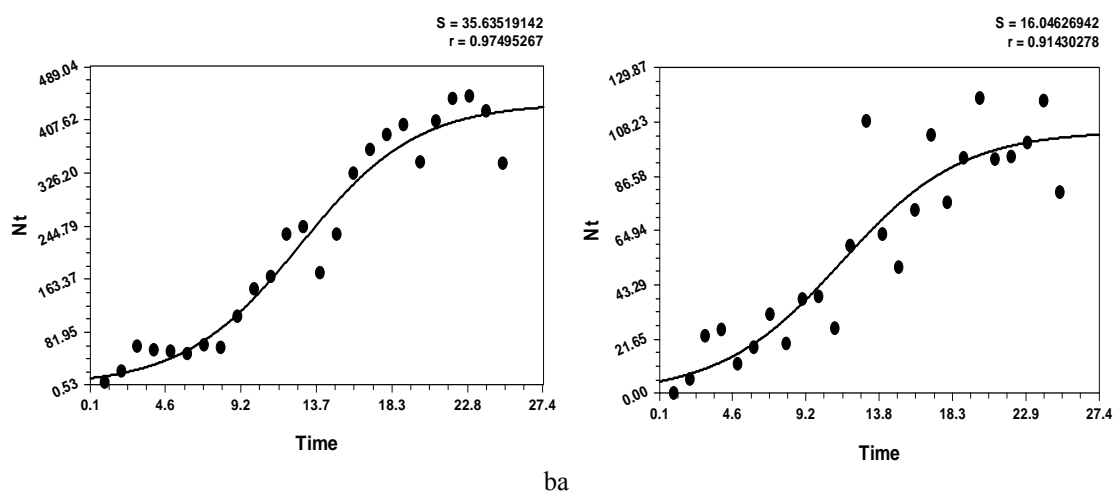
#### مدل اندرسون و می

معادلات مدل برای برآورد تغییرات گروه‌های مختلف جمعیتی شپشه‌دندانه‌دار به شرح معادلات ۱۷ است. پارامترهای مدل مشابه حالات قبل تعریف شده‌اند (Beaglehole et al. 1994).

جدول ۱- میانگین تراکم  $\pm$  خطای استاندارد گروه‌های مختلف جمعیت *Oryzaephilus surinamensis* در شرایط همه‌گیری عامل بیماریارگر *Beauveria bassiana* در توده خرماي انباري

Table 1-Average density  $\pm$  SE of *Oryzaephilus surinamensis* population having different interactions with *Beauveria bassiana* in stored date fruits

Weeks	H Whole population	Z Recovering population	X Susceptible population	Y Infected population	W Vector population
1	5.33 $\pm$ 1.12	0 $\pm$ 0	5.00 $\pm$ 1.15	5.02 $\pm$ 1.09	36.18 $\pm$ 3.94
2	21.6 $\pm$ 3.24	6.00 $\pm$ 1.12	20.58 $\pm$ 3.16	20.30 $\pm$ 3.15	583.42 $\pm$ 11.08
3	61.33 $\pm$ 5.47	17.30 $\pm$ 2.34	58.27 $\pm$ 4.61	57.64 $\pm$ 3.48	165.44 $\pm$ 7.95
4	55.33 $\pm$ 4.87	2.40 $\pm$ 0.78	52.57 $\pm$ 4.09	52.01 $\pm$ 3.29	175.54 $\pm$ 8.05
5	52.67 $\pm$ 4.36	13.30 $\pm$ 2.08	50.03 $\pm$ 3.98	49.50 $\pm$ 3.14	181.27 $\pm$ 8.48
6	49.67 $\pm$ 3.82	6.40 $\pm$ 1.17	47.18 $\pm$ 3.81	46.70 $\pm$ 3.08	189.00 $\pm$ 8.57
7	61.67 $\pm$ 5.33	13.30 $\pm$ 1.87	58.58 $\pm$ 4.96	57.95 $\pm$ 3.51	164.97 $\pm$ 8.06
8	58.33 $\pm$ 4.28	11.70 $\pm$ 1.74	55.47 $\pm$ 4.92	54.86 $\pm$ 3.28	170.08 $\pm$ 8.09
9	107.00 $\pm$ 7.41	18.00 $\pm$ 1.92	101.65 $\pm$ 6.48	100.65 $\pm$ 6.81	134.88 $\pm$ 6.97
10	148.30 $\pm$ 8.24	1.00 $\pm$ 0.09	140.85 $\pm$ 7.16	139.47 $\pm$ 7.09	126.17 $\pm$ 6.42
11	167.67 $\pm$ 8.67	13.30 $\pm$ 1.82	159.28 $\pm$ 7.96	157.65 $\pm$ 7.19	123.78 $\pm$ 6.38
12	223.10 $\pm$ 9.37	41.00 $\pm$ 2.89	221.45 $\pm$ 8.14	219.23 $\pm$ 8.28	118.93 $\pm$ 5.98
13	243.67 $\pm$ 9.54	53.00 $\pm$ 2.93	231.48 $\pm$ 8.76	229.16 $\pm$ 8.96	118.41 $\pm$ 5.69
14	174.03 $\pm$ 7.39	51.29 $\pm$ 2.91	165.33 $\pm$ 7.91	163.67 $\pm$ 7.45	123.12 $\pm$ 6.59
15	232.33 $\pm$ 9.43	9.90 $\pm$ 1.78	220.71 $\pm$ 8.53	218.50 $\pm$ 8.29	118.90 $\pm$ 5.96
16	325.03 $\pm$ 10.47	55.00 $\pm$ 4.01	308.70 $\pm$ 9.19	305.69 $\pm$ 9.68	115.64 $\pm$ 5.82
17	361.70 $\pm$ 10.83	17.40 $\pm$ 2.33	343.67 $\pm$ 9.35	340.24 $\pm$ 9.97	114.83 $\pm$ 5.74
18	385.67 $\pm$ 10.91	42.53 $\pm$ 3.28	366.38 $\pm$ 9.87	362.70 $\pm$ 9.18	114.38 $\pm$ 5.69
19	399.53 $\pm$ 10.94	24.00 $\pm$ 2.86	379.50 $\pm$ 10.08	375.76 $\pm$ 9.59	114.15 $\pm$ 5.61
20	343.80 $\pm$ 10.21	28.00 $\pm$ 2.97	325.66 $\pm$ 8.89	322.40 $\pm$ 8.97	115.22 $\pm$ 5.83
21	406.20 $\pm$ 11.13	22.00 $\pm$ 2.81	385.89 $\pm$ 9.07	382.03 $\pm$ 9.96	114.05 $\pm$ 5.64
22	440.77 $\pm$ 11.42	9.30 $\pm$ 1.56	418.72 $\pm$ 10.58	414.54 $\pm$ 10.49	113.56 $\pm$ 5.43
23	445.07 $\pm$ 11.58	8.30 $\pm$ 1.42	422.81 $\pm$ 10.64	418.58 $\pm$ 10.53	113.50 $\pm$ 5.41
24	422.07 $\pm$ 11.27	7.30 $\pm$ 1.19	400.94 $\pm$ 10.19	396.95 $\pm$ 10.08	113.81 $\pm$ 5.37
25	340.30 $\pm$ 10.46	30.30 $\pm$ 2.79	323.28 $\pm$ 9.04	320.05 $\pm$ 8.94	115.28 $\pm$ 5.92



شکل ۲. مدل رشد لجستیک جمعیت شیشه‌دنداندار *Oryzaephilus surinamensis* در میوه خرما (a) شاهد (b) آلوده شده با قارچ *Beauveria bassiana*

Fig. 2. Logistic growth model of *Oryzaephilus surinamensis* reared in date fruits (a) Control and (b) treated with *Beauveria bassiana*



جدول ۲. مقدار پارامترهای مختلف جمعیتی *Oryzaephilus surinamensis* در شرایط تغذیه از میوه خرما  
 Table2. Different population parameters values of *Oryzaephilus surinamensis* feeding on date fruits

Population Categories	r	a	b
Infected	0.267	0.264	0.0025
Control	0.285	0.284	0.0006

$$\frac{dY}{dt} = \gamma XY - \mu Y = 0.733 XY - 18Y$$

$$\frac{dZ}{dt} = \mu Y = 18Y$$

$$\frac{dX}{dt} = -\gamma XY = -0.733 XY$$

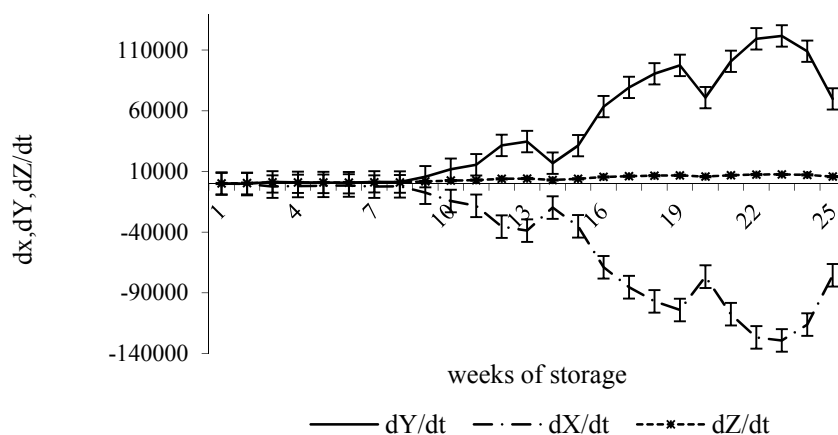
**مدل های همه گیری بیماری**

تغییرات گروه های جمعیتی بر اساس مدل های عمومی، اس-ای-ار و آندرسون و می محاسبه شد که به شرح زیر ارائه گردیده است.

**الف- مدل عمومی**

گام اول در این مدل محاسبه نرخ حذف به بهبود می باشد که بر اساس رابطه  $\rho = \mu/\gamma$  معادل ۲۴/۵۶ است. سپس معادلات مدل به صورت زیر برآزش شد.

محاسبه تغییرات جمعیت بر اساس معادلات محاسبه شده که نتایج آن برای طی دوره ۲۵ هفته انبارداری به صورت شکل ۳ درج گردیده است.



شکل ۳. تغییرات جمعیت شپشه دندانه دار *Oryzaephilus surinamensis* بر اساس مدل عمومی در خرما  
 Fig. 3. Population fluctuation of *Oryzaephilus surinamensis* in date fruits based on general model

تعداد افراد حساس باقیمانده در حد ثابتی باقی می ماند.

**ب- مدل اس-آی-ار**

معادلات مدل برای جمعیت شپشه دندانه دار *O. surinamensis* به شرح زیر محاسبه شد.

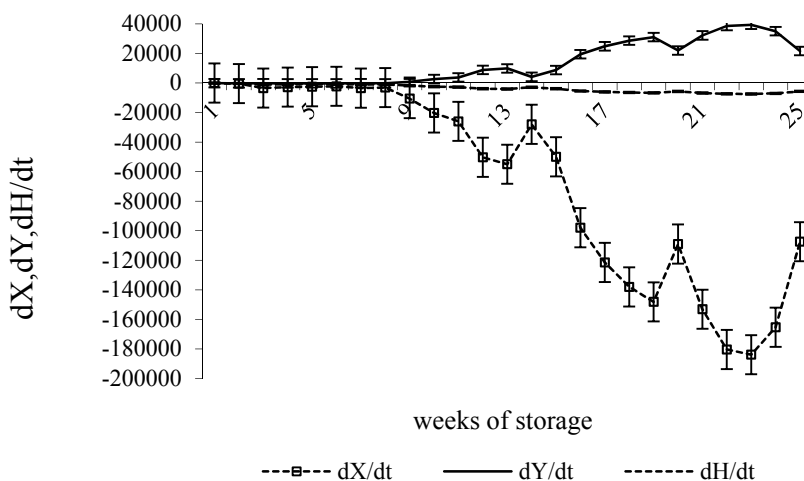
همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می گردد، بر اساس مدل عمومی در موج اول همه گیری فاصله بین جمعیت آلوده و حساس کم بوده ولی به ترتیب در موج های همه گیری بعدی به تدریج تعداد افراد آلوده شده افزایش و تعداد افراد بهبود یافته کاهش می یابد، به طوری که

$$\frac{dX}{dt} = r(H + Y) - bx - vHY + \gamma X = 0.267(H + Y) - 0.0025 X - 0.99 HY + 0.733 X$$

$$\frac{dY}{dt} = rXY - (\mu + b + \gamma)Y = 0.267 XY - 18.7355Y$$

$$\frac{dH}{dt} = rH - \mu X = 0.267 H - 18Y$$

تغییرات جمعیت بر اساس معادلات مدل انجام شد که نتایج آن در طی دوره ۲۵ هفته انبارداری به صورت شکل ۴ درج گردیده است.



شکل ۴. تغییرات جمعیت شپشه‌دندان‌دار *Oryzaephilus surinamensis* بر اساس مدل اس-آی-ار در میوه خرما  
 Fig. 4. Population fluctuation of *Oryzaephilus surinamensis* in date fruits based on SIR model

قابل برآورد نمی‌باشد.

**ج- مدل اندرسون و می**

معادلات مدل برای جمعیت شپشه‌دندان‌دار، *O. surinamensis* در شرایط تغذیه از خرما می‌باشد. شرح زیر می‌باشند.

بر اساس مدل اس-آی-ار نیز چهار موجهه‌گیری در طی شش ماه نمونه‌برداری قابل تشخیص است. به تدریج از هفته نهم به بعد، شدت همه‌گیری افزایش می‌یابد به طوری که اختلاف بین تعداد کل افراد بیمار با تعداد افراد باقیمانده افزایش می‌یابد. این اختلاف در هفته بیست و سوم به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این مدل برخلاف مدل قبلی تعداد افراد بهبود یافته (*Z*)

$$\frac{dX}{dt} = (a - b)X + (\alpha + \gamma)Y - vWX = 0.2615X + 0.7249Y - 0.99WX$$

$$\frac{dY}{dt} = vWX - (\alpha + b + \gamma)Y = 0.99WX - 0.7274Y$$

$$\frac{dW}{dt} = \lambda Y - (\mu + vX + v(1 - q)W) = 18.73Y - (4.616 + 0.99X + 0.94Y)W$$

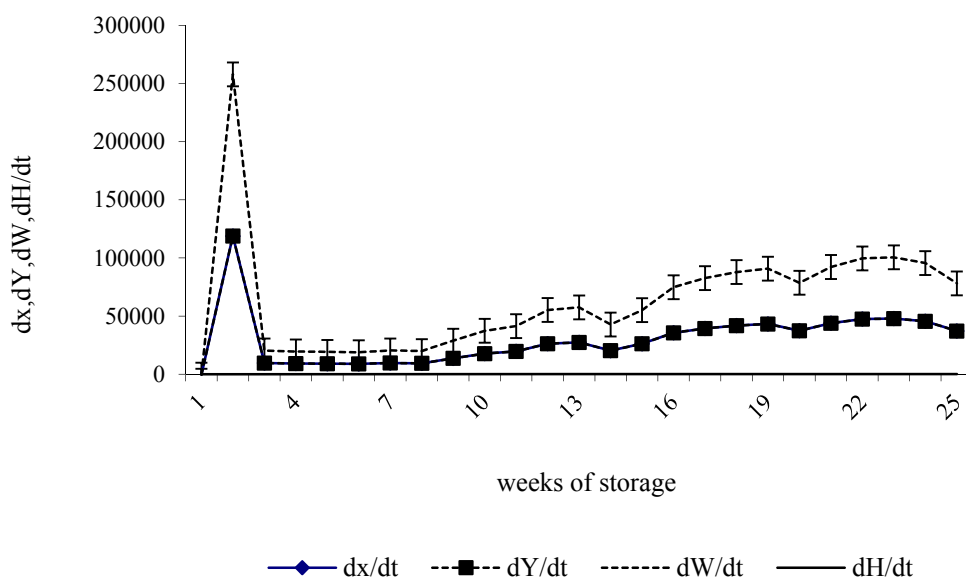
هفته نهم به بعد به تدریج تعداد افراد آلوده به بیماری (*Y*) و تعداد افراد ناقل بیماری (*W*) افزایش می‌یابد. در این مدل تعداد کل جمعیت (*H*) با نوسانات مختصری ثابت باقی می‌ماند. بنابراین مدل اندرسون و می نشان می‌دهد که همه‌گیری ناشی از عامل بیمارگر پس از حدود ۹ هفته توانایی ایجاد ثبات در جمعیت

$$\frac{dH}{dt} = rH - \alpha Y = 0.267H - 0.0019Y$$

تغییرات جمعیت بر اساس معادلات مدل محاسبه شد که نتایج آن در طی دوره ۲۵ هفته انبارداری به صورت شکل ۵ درج گردیده است. در این مدل نیز چهار موج همه‌گیری قابل تشخیص است. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد، از

ارتباطات مختلف باعامل بیمارگر موفق تر از مدل های عمومی واس-آی-ار بود. زیرا تنها در این مدل بین پیش بینی به عمل آمده و مشاهدات حاصل از نمونه برداری ۲۵ هفته تفاوت معنی داری وجود نداشت ( $\alpha=0.05$  و  $d_f=24$ ,  $t=7/23$ ).

میزبان را دارد. این ثابت نسبی تا انتهای دوره مطالعه که حدود هفته بیست و پنجم است، ادامه دارد. مقایسه کارایی مدل های مختلف در ارزیابی پویایی همه گیرشناسی بیماری در جمعیت آفت نشان داد که مدل آندرسون و می در بیان جمعیت های دارای



شکل ۵. تغییرات جمعیت شپشه دنداندار *O. surinamensis* بر اساس مدل آندرسون در میوه خرما  
Fig.5. Population fluctuation of *O. surinamensis* in date fruits based on Anderson model

اما نظیر چنین مطالعه ای به افزایش اطلاعات از محیط زیست اساسی این گونه قارچی در شرایط انباری نگهداری خرما به دلیل پیچیدگی تعامل میزبان / عامل بیمارگر / محیط زیست و تصمیم گیری صحیح در رهاسازی آن کمک می کند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که رهاسازی قارچ عامل بیمارگر می تواند در جمعیت شپشه دنداندار تعادل پایدار ایجاد کند. از موج اول همه گیری به بعد یعنی از حدود هفته سوم سطح نوسانات جمعیت به تدریج کاهش یافته و میزان ثبات در سطح تعادل جمعیت بیشتر می شد. این موضوع نشانگر موفقیت رهاسازی قارچ *B. bassiana* برای کنترل میکروبی شپشه دنداندار در شرایط انبارداری خرما می باشد.

در حال حاضر، برخی از تلاش های تحقیقاتی به منظور درک عوامل موثر بر عفونت های قارچی در حشرات

در منحنی تغییرات تراکم جمعیت آفت در توده خرما تیمار شده یک روند سینوسی اتفاق می افتاد. به گونه ای که تراکم جمعیت در مرحله "پیش همه گیری" افزایش یافته تا به نقطه اوج منحنی که زمان وقوع همه گیری بود، می رسید. پس از آن مرحله "پس همه گیری" اتفاق می افتاد که در این مرحله روند کاهشی در منحنی تراکم جمعیت آفت ثبت شد. در طول دوره ۲۵ هفته انبارداری مطالعه چهار موج ثبت گردید که نشان دهنده بروز پنج دوره همه گیری در جمعیت آفت بود. نقاط اوج این موج های همه گیری به ترتیب در هفته های سوم، سیزدهم، بیست و یکم و بیست و سوم واقع شده بود. طولانی ترین دوره همه گیری از نظر زمانی مربوط به موج همه گیری دوم بود که حدود ۱۲ هفته بود. اگرچه تحقیقات فراوانی در مورد استفاده از قارچ های بیمارگر برای کنترل آفات انجام شده است،

نظیر تحقیق حاضر برای پیشبینی وضعیت همه‌گیری بیماری در جمعیت آفات مورد بررسی استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل‌های همه‌گیرشناسی راه حل مناسبی در تشخیص کارایی کنترل بیولوژیک با قارچ‌های بیمارگر بندپایان است.

نتایج پژوهش حاضر و تحقیقات مشابهی که تحت عنوان مطالعات همه‌گیرشناسی نامیده می‌شوند، پویایی بروز و شیوع بیماری را در جمعیت میزبان با سایر عوامل خطر و تغییرات جمعیت مرتبط می‌کنند. کاربرد این یافته‌ها برای متخصصین مدیریت کنترل آفات این است که ضمن تلاش برای افزایش احتمال خطر بیماری در جمعیت آفت، اثرات کنترلی بیماری را در جمعیت آفت ردیابی می‌کنند (Lacey et al. 2015). یافته‌های حاصل از این پژوهش همچنین در فرایند تشخیص با تمرکز بر میزان شیوع بیماری در شرایط انبار نگهداری خرما، احتمال خطا در کنترل مؤثر آفت را کاهش می‌دهد. ارزیابی تراکم جمعیت و الگوهای زمانی پراکنش آفت از معیارهای مهم در انتخاب روش مدیریت و همه‌گیرشناسی بیماری در شرایط کنترل میکروبی است. با توجه به نتایج این پژوهش با که هدف ارزیابی شدت کنترل و الگوی زمانی بیماری موسکاردین سفید در جمعیت شیشه دندانانه دار انجام گرفت وضعیت تغییرات شدت بیماری در طی مدت ۶ ماهه انبارداری خرما قابل ارزیابی و پیش‌بینی است. نتایج نشان داد که توزیع نرخ آلودگی و مرگ‌آفت در شرایط انبارداری خرما غیریکنواخت است، به‌طوری که در انتهای دوره انبارداری خرما، شدت بیماری، نرخ آلودگی و مرگ‌ومیر شتاب بیشتری داشت. جمعیت آفت شیشه دندانانه در اثر بیماری با شدت به‌نسبت زیاد در دوره اول همه‌گیری دچار تلفات شده، اما پس از حدود یک ماه شدت همه‌گیری کمتر می‌شود و در موج‌های دوم و سوم اوج‌های ضعیفی تشکیل می‌دهند. براساس نتایج این تحقیق می‌توان الگوی مناسبی برای طرح‌ریزی برنامه‌های کاربردی کنترل میکروبی و پایش گسترش بیماری در جمعیت آفت به‌دست آورد. نتایج حاصل از این تحقیق، اساس تصمیم‌گیری در کنترل بیولوژیک آفت *O. surinamensis* توسط قارچ بیمارگر *B. bassiana* است.

به‌منظور بررسی امکان دستکاری این سیستم‌ها برای افزایش احتمال بروز همه‌گیری هدایت شده است (Latifian 2014). مطالعات مشابه در رابطه با بررسی خصوصیات جمعیت شناسی عوامل بیمارگر بی‌مهرگان بسیار اندک بوده است. در مطالعه‌ای همه‌گیرشناسی قارچ *B. bassiana* در جمعیت شته روسی گندم *Diuraphis noxia* Kurdjumov مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق نیز نظیر بررسی حاضر با استفاده از مدل تحلیل ساختارسنی جمعیت و مدل همه‌گیرشناسی عمومی وضعیت تغییرات جمعیت سالم و بیمار مراحل مختلف رشدی آفت با موفقیت پیش‌بینی گردیده است (Lacey and Goettel 1995). اما در تحقیق حاضر مدل عمومی از کارایی کمتری برخوردار بود. این موضوع نشان می‌دهد که بسته به شرایط جمعیت میزبان و عامل بیمارگر باید نوع مدل مناسب برای ارزیابی همه‌گیری انتخاب گردد. همه‌گیرشناسی قارچ *Neozygites floridana* Weiser در جمعیت کنه سبز کاساوا از جمله موارد موفق استفاده از مدل‌های جمعیت شناسی در بررسی همه‌گیرشناسی بیماری‌های قارچی بندپایان است (Tanada and Kaya 1993). نقش عوامل محیطی در بروز همه‌گیری بیماری قارچی در جمعیت *Trialeurodes vaporariorum* مورد بررسی قرار گرفته است (Fargus et al. 2003). مطالعات مشابه‌ای همه‌گیرشناسی قارچ *E. maimaiga* در جمعیت پروانه ابریشم باف ناجور *L. dispar* (Woods and Elkinton 1987) انجام گرفته است. همه‌گیری سه قارچ بیمارگر از جنس‌های *Beauveria*، *Metarhizium* و *Paecilomyces* در اگر واکوسیستم مزارع سویا مورد بررسی قرار گرفته است. تاثیر این سه جنس قارچ در مرگ‌ومیر و تغییرات جمعیت آفات مهمی نظیر *Lagriavillosa* Fabr ، *Neozygites* sp. و *Aschersonia aleyrodis* Webber به‌صورت مدل‌های همه‌گیرشناسی بررسی شد (Sosa-Gomez et al. 2001). از مدل‌های مشابهی برای پیش‌بینی سطح تعادل جمعیت شته *Schizolachnus piniradiatae* Davidson در شرایط فعال بودن قارچ بیمارگر *Entomophthora Canadensis* Macleod استفاده شده است (Barta and Cagañ 2006). در این مطالعات نیز

## REFERENCES

- Abdel-Raheem MA, IA Ismail, RS Abdel Rahman, NA Farag, IE Abdel Rhman** (2015) Entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Bals.) and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) As biological control agents on some stored product insects. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2015; 3(6): 316-320.
- Barta M, Cagán L** (2006) Aphid-pathogenic Entomophthorales (their taxonomy, biology and ecology). *Biologia*, 61(21), pp. 543-616.
- Bartlett MC, Jaronski ST** (1988) Mass production of entomogenous fungi for biological control of insects, *In*. Burge MN (ed.), *Fungi in brolioged control systems*. Manchester, U.K. pp.61-85.
- Benz G** (1987) Environment, *In*. fuxa JR and Tanada Y (eds.), *Epizootiology of insect Diseases*. John Wiley and sons, New York. pp.177-214.
- Beaglehole R, Bonita R, Kjellstrom T** (1994) *Basic epidemiology*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Bhopal R** (2002) *Concepts of epidemiology*. New York, Oxford University Press.
- Bikash B** (2017) Entomopathogenicity and biological attributes of himalayan treasured fungus *Ophiocordyceps sinensis* (Yarsagumba). *Journal of Fungi* 30 (4): 30-54.
- Blumberg D** (2008) Review: Date palm arthropod pests and their management in Israel. *Phytoparasitica* 36 (5), 411-448.
- Boucas D, Mazet GI, Pendland J, Hung SY** (1995) Comparative analysis of the *in vivo* and *in vitro* metabolites produced by the entomopathogen *Beauveria bassiana*. *Canadian Journal of Botany* 73(1): 1092- 1 099.
- Boucias DG, Pendland JC** (1998) *Principles of insect pathology*. Kluwer Academic Publishers. Boston, Massachusetts.
- Brown GC** (1984) Stability of an insect-pathogen model incorporating age-dependent immunity and seasonal host production. *Bulletin of Mathematical Biology* 46(1):139-153.
- Butt TM, Wraight SP, Galaini-Wraight S, Humber RA, Roberts DW, Soper RS** (1988) Humeral encapsulation of the fungus, *Erynia radicans* (Entomophthorales) by the potato leaf hopper, *Empoasca fabae* (Homoptera: Cicadellidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 52: 49-56.
- Chun C, Ming-Guang F** (2005) Epizootiological modeling of *Pandora neoaphidis* Mycosis Transmission in *Myzus persicae* colonies initiated by primarily infected alates. *Applied Environmental Microbiology*. 71(7): 4104-4107
- Enarson DA, Kennedy SM, Miller DL** (2004) Measurement in epidemiology. *In*: *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease* 8(10): 1269-73.
- Ewald PW** (1987) Pathogen-induced cycling of outbreak insect populations, *In* Barbosa P. and Schultz JC, (eds.), *Insect outbreaks*. Academic Press, San Diego, California, U.S.A. pp. 269-286
- Fargus J, Vidal C, Smit N, Rougier M, Boulard T, Mermier M, Nicot P, Reich P, Jeannequin B, Lagier G** (2003) Climatic factors on entomopathogenic hyphomycetes infection of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) in mediterranean glasshouse tomato. *Biological Control* 28: 329-331.
- Feng Z, Caruthers RI, Roberts DW, Robson DS** (1985) Age-specific dose-mortality effects of *Beauveria bassiana* on the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Invertebrate Pathology* 48: 259-264.
- Fuxa JR, Tanada Y** (1987) *Epizootiology of insect diseases*. John Wiley and Sons, New York.
- Gaugler R, Kaya HK** (1990) *Entomopathogenic nematodes in biological control*. CRC press, inc. Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Ghazavi M, Kharazi- Pakdel A, Ershad J, Bagherizonou Z** (2002) Efficiency of Iranian isolates of *Beauveria bassiana* against *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae). *Applied Entomology and Phytopathology*. 69(2): 111-128. (In Persian)
- Goettel MS, Eilenberg J, Glare T** (2005) Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations. *Comprehensive Molecular Insect Science* 6: 361-405.
- Hibbett DS, Binder M, Bischoff JF, Blackwell M, Cannon PF, Eriksson OE, Zhang N** (2007) A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*, 111(5), 509e547.
- Jackson MA, Dunlap CA, Jaronski ST** (2010) Ecological considerations in producing and formulating fungal entomopathogens for use in insect biocontrol. *BioControl* 55: 129-145.
- Jaques RP** (1990) Effectiveness of the Granulosis virus of the codling moth in orchard trials in Canada, *In*. Pinnock DE, (ed.), *Vth international colloquium on invertebrate pathology and microbial control*. Adelaide, Australia, 20-24 August, pp. 428-430
- Jassim HK, Andullah LM, Abd- Al- Ahad I** (1998) Determination of the exact concentration of *Beauveria bassiana* to control the larvae of the Fig moth *Ephestia cautella* on stored dates in Iraq. *Arab Journal of*

- Plant Protection 6: 44-45.
- Jewell NP**(2004) Statistics for epidemiology. Chapman & Hall/CRC. Florida.
- Jenkins NE, HeviefoG, LangewaldJ, Cherry AJ,LomerCJ**(1998) Development of mass production technology for aerial conidia for use as mycopesticides. *Biocontrol News and Information*. 19 (1) 29-39.
- Kermack WO,MckendrickAG**(1927) A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A* 115: 700-721.
- Lacey LA, GoettelMS**(1995) Current development of microbial control of insect pests and prospects for the early 21<sup>st</sup> century. *Entomophaga* 40:1-25.
- Lacey LA, Grzywacz D, Shapiro-Ilan DI, Frutos R, Brownbridge M, Goettel MS** (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*. 132:1-41.
- Lai PY, Tamashiro, Fuji JK** (1982) Pathogenicity of six strains of entomogenous fungi to *Copoterme formosanus*. *Journal of Invertebrate Pathology* 39: 1-5.
- Latifian M** (2003)The technology of date palm stored pests control. Ahangghalam Publication, Mashhad, pp: 100.
- Latifian ME, Soleimannejadian E, Ghazavi M, HayatiJ, Mosadegh Nikbakht P** (2009) Evaluation of three *Beauveria bassiana* isolates on Sawtoothed beetle *Oryzaephilus surinaemensis* and the effect of different temperature on their germination and mycelium growth. *Applied Entomology and Phytopathology*. 77(1): 151-168. (In Persian).
- Latifian M, Soleimannejadian E, Ghazavi M, Mosadegh MS, Hayati J** (2010a)The Study of pathogenicity of *Beauveria bassiana* on the Larvae and adult stages of sawtoothed beetle *Oryzaephilus surinaemensis* on date palm cultivars. *Plant protection*. 33(1): 21-30. (In Persian)
- Latifian M, Soleimannejadian E, Ghazavi M** (2010b) The Sub lethal doses(concentrations) effects of fungus *Beauveria bassiana*(Balsamo) on the reproductive potentials of sawtoothed beetle *Oryzaephilus surinamensis* L. in commercial date cultivars nutrition conditions. *Plant protection* 2(4): 297-310. (In Persian).
- Latifian M, SoleimannejadianE, Ghazavi M, MosadeghMS, Hayati J** (2012)Study the horizontal and between generations transmissions of fungi *Beauveria bassiana* on sawtoothed beetle population *Oryzaephilus surinamensis* in terms of nutrition Date palm cultivars. *Journal of Entomological Research*. 4(3): 257-267(In Persian).
- Latifian M** (2014) Epizootiology of insect diseases. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Ahang Galam Publication. Mahhad, Iran, 192PP(In Persian).
- LilienfeldDE, Stolley PD** (1994) Foundations of epidemiology. 3rd Ed. Oxford University Press, New York. 393pp.
- Navon A, AscherK R S** (2000)Bioassay of entomopathogenic microbes and nematodes. CABI publishing. 324pp.
- Sosa-Gomez DR, Delpin KE, Muscardi F, Farias JRB** (2001) Natural Occurrence of the Entomopathogenic Fungi *Metarhizium*, *Beauveria* and *Paecilomyces* in Soybean Under Till and No-till Cultivation Systems. *Neotropical Entomology* 30(3): 407-410.
- Tanada Y, Kaya H K** (1993) Insect pathology. Academic Press, London.
- Thomas KC, Khachatourians GG, Langlew WM** (1987) Production and properties of *Beauveria bassiana* conidia cultivated in submerged culture. *Canadian Journal of Microbiology* 33: 12-20.
- Wang I, Huang M, You M, Liu B** (2004) Time-dose-mortality modeling and virulence for six strains of *Verticillium lecanii* against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Journal of Applied Entomology* 128: 494-500.
- Woods S, Elkinton JS** (1987) Bimodal patterns of mortality from nuclear polyhedrosis virus in gypsy moth (*Lymantria dispar*) populations. *Journal of Invertebrate Pathology* 50:151-157.
- Young LJ, Young JH** (1998) Statistical ecology. Kluwer Academic press.
- Zelazny B, Alfiler AR** (2008) Ecology of Baculovirus infected and healthy adult of *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae) on Cocconut palm in the Philippines. *Ecological. Entomology* 16(2):253-259.