

آفات و بیماری‌های گیاهی

جلد ۶۹، شماره ۱، شهریور ۱۳۸۰

## مدل شبیه سازی نمو مراحل نابالغ جمعیت سفید بالک گلخانه

(*Trialeurodes vaporariorum* Hom., Aleyrodidae)

Simulation model of immature stages development of greenhouse whitefly

(*Trialeurodes vaporariorum*)

بهرام تفقدی نیا؛ علاءالدین ملک؛ قدیر نوری قنبلانی و کریم کمالی

گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۷۸، تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۸۰)

### چکیده

توسعه مدل‌های شبیه‌سازی برای درک و فهم سیستم‌های پیچیده حشرات بسیار مناسب است و این امکان را فراهم می‌سازند که شکاف‌های موجود در اطلاعات‌مان را کامل نمایم. یک مدل برای شبیه‌سازی نمو مراحل نابالغ جمعیت سفید بالک گلخانه (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) ساخته شد. پارامترها، متغیرها، معادلات و داده‌های مورد استفاده در مدل ارائه شده است. مدل با استفاده از نرم افزار SIAM II ساخته شد. ساختار مدل به شکل شبکه و زبان برنامه نویسی ارائه شده است. برای سنجش اعتبار مدل، دو سری داده برای مقایسه با نتایج مدل جمع‌آوری شد. تعداد مراحل نابالغ سنی حاصل از ۱۰۶ و ۱۱۵ تخم سفید بالک گلخانه روی برگ‌های گوجه فرنگی بطور روزانه بررسی و ثبت شد. بر اساس مقایسه داده‌های جمع‌آوری شده از گلخانه با خروجی مدل، پیش‌گویی مدل مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش اول (۱۰۶ تخم) مجموع کل دوره نابالغ زیستی در مدل ۵۶ روز و در شرایط گلخانه‌ای ۵۲ روز و در آزمایش دوم (۱۱۵ تخم) این دوره در مدل ۵۸ روز و در مشاهدات گلخانه‌ای ۵۲ روز بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: مدل شبیه‌سازی، سفید بالک، مراحل نابالغ

## مقدمه

بخشی از محصولات کشاورزی را محصولات گلخانه‌ای تشکیل می‌دهند. سفید بالک گلخانه *T. vaporariorum* یکی از مهمترین آفات محصولات گلخانه‌ای است (Curry & Pimentel, 1971) که قدرت انتقال ویروس‌ها، تولید عسلک و خسارت مستقیم حشره با تغذیه از گیاه، را دارد و استفاده آفت‌کش‌ها را برای کاهش خسارت آن بسیار گسترش داده است. سمپاشی هفتگی و یا دو بار در هفته در بعضی از گلخانه‌ها خصوصاً گلخانه‌های تولید کننده گیاهان زینتی، حتی در بسیاری موارد بدون ارزیابی حضور و یا در نظر گرفتن تراکم سفید بالک گلخانه صورت می‌گیرد. این نحوه مصرف علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی فراوان، مصرف بیش از حد آفت‌کش‌ها و افزایش هزینه در واحد سطح را منجر می‌شود. که نتیجه آشکار آن ظهور پدیده مقاومت به آفت‌کش‌ها و ظهور آفات ثانویه است.

از طرفی توجه بیشتر به محصولات گلخانه‌ای، دما و رطوبت مناسب در شرایط گلخانه باعث افزایش نسبی بیشتر آنها در مقایسه با شرایط باغ و مزرعه شده است. بدین ترتیب در صورتی که سیستم مدیریتی هوشمندی برای کنترل این آفت در گلخانه ایجاد نشود، منجر به کاربرد بیش از حد و کم تأثیر آفت‌کش‌ها خواهد شد. اگر کشاورزان سیستمی در اختیار داشته باشند که بتواند جمعیت سفید بالک گلخانه را پیش بینی کنند. با میزان سم پاشی کمتر و در نتیجه هزینه کمتر نتیجه بهتری را بدست خواهند آورد. توانایی در پیش‌بینی تغییرات جمعیت سفید بالک گلخانه برای فهم اینکه چه چیزی سبب تفاوت توزیع فضایی و زمانی حشره می‌شود، مورد نیاز است. لذا مدل شبیه سازی نمو مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه به عنوان بخشی از سیستم این حشره با هدف پیش بینی زمان حضور مراحل مختلف سنی در دماهای مختلف توسعه داده شد.

نقطه شروع تفکر درباره یک جمعیت با فرد آغاز می‌گردد. یک فرد متولد می‌شود، رشد می‌کند، نمو پیدا می‌کند، بالغ می‌گردد، تولید مثل می‌کند و سرانجام می‌میرد. تمامی این نرخ‌ها (Rates) هستند که مشخص می‌نمایند یک جمعیت افزایش یا کاهش می‌یابد، دوام پیدا می‌کند، منقرض می‌شود، در حال نوسان است و یا حالتی پایدار و ساکن دارد. برای مدل‌سازی دینامیسم جمعیت و واکنش آن نسبت به تأثیرات محیطی لازم است ارتباطی بین

نرخ‌های افراد (Individual Rates) و فرایندهای جمعیت برقرار شود. این مسئله با استفاده از مدل‌های ریاضی ساختار یافته امکان‌پذیر است (Wit and Gourdriaan, 1976).

تلاش برای استفاده از مدل‌های ریاضی برای تشریح جنبه‌های متفاوت اکولوژی حشرات با کارهای (Lotka, 1925, Nicholson and Bailey, 1935, Tompson, 1939, Leslie, 1945) آغاز شد. بدنال آن مدل‌های ریاضی نقش خود را در بسیاری از جنبه‌های علم حشره شناسی نشان داد.

علاوه بر روش شبیه سازی سه روش اصلی ریاضی برای بیان دینامیسم تابع توزیع جمعیت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Tuljapurkar and Caswell, 1997):  
الف - مدل‌هایی که از ماتریس‌ها استفاده می‌کنند.

مدل‌های جمعیتی ماتریسی یک جمعیت را داخل مراحل مجزا از هم تقسیم بندی کرده و در زمان‌های گسسته مورد بررسی قرار می‌دهند. وضعیت جمعیت به صورت یک بردار ارائه می‌شود.

$$n(t) = [n_1, \dots, n_2(t)]$$

این بردار از زمان  $t$  به  $t+1$  بوسیله ماتریس  $A$  بدست می‌آید

$$n(t+1) = An(t)$$

ب - مدل‌هایی که از معادلات دیفرانسیل تأخیری استفاده می‌کنند

این مدل‌ها جمعیت را در گروه‌های مجزا قرار داده و دینامیسم آنها را در زمان‌های پیوسته مورد بررسی قرار می‌دهند. این معادلات زمان تأخیرها را برای محاسبه زمان مورد نیاز جهت حرکت افراد در طی مراحل اعمال می‌کنند.

اگر مدلی را با دو مرحله در نظر بگیریم افراد در مرحله  $i$  با نرخ  $M_i$  می‌میرند. دوره مرحله یک، معادل  $T_1$  است. میزان تولید نوزادان در مرحله دو،  $m_2$  است. براین اساس داریم:

$$\frac{dn_1}{dt} = -M_1 n_1(t) + m_2 n_2(t)$$

$$\frac{dn_2}{dt} = m_2 n_2(t - T_1) - e^{-M_1 T_1} - M_2 n_2(t)$$

دوره عقب ماندگی زمانی در معادله دوم، بیانگر تعداد افراد جوانی است که در زمان  $T$  بالغ می‌شوند. همچنین تعداد افراد جوانی که در  $T_1$  واحد زمانی دنیا آمده و احتمال دارد برای مدت  $T_1$  واحد زمانی مورد نیاز جهت بالغ شدن بقا پیدا کنند.

ج - مدل‌هایی که از معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی استفاده می‌کنند

این مدل‌ها جمعیت را بر اساس یک متغیر پیوسته (مانند اندازه و سن) در یک زمان پیوسته بررسی می‌کنند. حالت جمعیت با تابع  $n(a,t)$  بیان می‌شود که تراکم افراد را در مرحله  $a$  در زمان  $t$  نشان می‌دهد، بیان می‌شود. دینامیسم  $n(a,t)$  بوسیله دو معادله زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\partial n(a,t)}{\partial t} + \frac{\partial n(a,t)}{\partial a} = -M(a)n(a,t)$$

$$n(0,t) = \int_0^{\infty} m(a)n(a,t)da$$

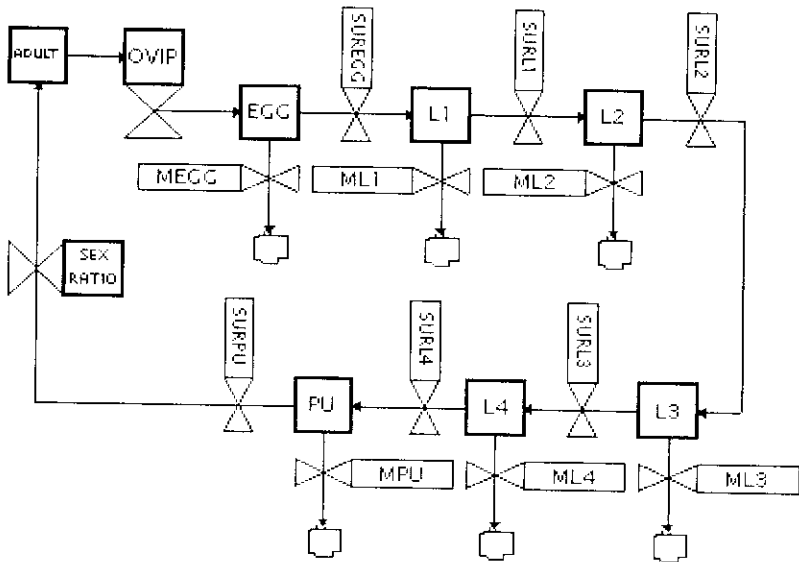
در این معادلات  $M(a)$  نرخ مرگ و میر و  $m(a)$  نرخ تولید مثل است. معادله اول تغییرات  $n(a,t)$  را همچنانکه افراد بزرگ می‌شوند یا می‌میرند نشان می‌دهد. معادله دوم میزان تولید افراد جدید را نشان می‌دهد.

روش بررسی

#### ۱- ساختار مدل

در نگرشی اندک وسیع می‌توان تقریباً هر مدلی را متشکل از ترکیب اجزاء پارامترها، متغیرها و معادلات دانست.

این ترکیب برای مدل شبیه سازی سفید بالک گلخانه در شکل یک ارئه شده است. اجزاء قسمت‌های تشکیل دهنده‌ای هستند که با هم سیستم را می‌سازند. در مدل شبیه‌سازی سیستم سفید بالک گلخانه مراحل نابالغ این حشره شامل تخم، چهار مرحله لاروی و شفیره به عنوان اجزاء مدل در نظر گرفته شد. تخم‌های کوچک توسط ماده‌های سفید بالک گلخانه در سطح زیرین برگ قرار داده می‌شوند (EGG). اولین مرحله لاروی که از تخم‌ها خارج می‌شود در ابتدا متحرک بوده و بعد از وارد کردن قطعات دهانی در بافت گیاه ثابت می‌شود (L1). سه



شکل ۱، نمودار ارتباطی سیستم سفید بالک گلخانه: بقاء = SUR، تخم‌ریزی = OVIP، مرگ و میر = M، برای مثال ML1 میانگین مرگ و میر L1 و SURL4 میانگین تعداد لارو مرحله چهارم که بقا یافته و به مرحله شفیرگی وارد می‌شوند.

Fig. 1, Relational diagram of greenhouse whitefly life history (M = mortality, SUR = survival, OVIP = oviposition). For example ML1 means mortality of L1 and SURL4 means number of fourth stage survive to pupa.

مرحله لاروی نیز بعد از این مرحله وجود دارد (L2, L3, L4). بعد از این مرحله چشم‌های رنگی آشکار شده و پوسته بدن ضخیم‌تر می‌شود. این مرحله اصطلاحاً شفیره اطلاق می‌شود (PU).

پارامترها کمیت‌هایی هستند که مدل‌ساز می‌تواند مقادیر دلخواهی به آنها بدهد. دما و در صد مرگ و میر مراحل مختلف سنی سفید بالک گلخانه از جمله پارامترهای مدل بحساب می‌آیند.

مرگ و میر مراحل سنی مختلف سفید بالک گلخانه بر اساس درصد افرادی که این مرحله را پشت سر می‌گذارند و وارد مرحله بعد می‌شوند مشخص شده است.

(Lenteren and Woets, 1988). داده‌های لازم جهت تعیین میزان مرگ و میر از منابع Kraaijenbrink, 1972, Eijsackers, 1969, Hussey and Gurney, 1957, Burnet, 1949) جمع‌آوری گردیده است. متغیرها کمیت‌هایی هستند که تنها مقادیری را می‌توانند بپذیرند که شکل تابع ممکن می‌سازد. در این مدل طول دوره نمو و تعداد افراد هر یک از مراحل مختلف سنی سفید بالک گلخانه متغیرهای مدل را تشکیل می‌دهند.

داده‌های لازم در رابطه با دوره های نمو تخم تا لارو سن سوم سفید بالک گلخانه روی گوجه فرنگی در ۱۵ دمای ثابت و برای لارو سن چهارم و شش‌هفته در ۱۰ دمای ثابت از منابع (Eijsackers, 1969, Burnet, 1949, Hussey and Gurney, 1957, Weber, 1931) جمع‌آوری شد. (Tafaghodinia, 1998, Farochi, 1996, Evert and Schute, 1983, Kraaijenbrink, 1972)

## ۲- شبکه و خروجی مدل

در SLAM II شبیه سازی به شیوه تشریح فرآیندها، تشریح وقایع و جستجوی فعالیت‌ها امکان پذیر است. برای شبیه‌سازی در SLAM II بعد از اجرای مراحل اولیه ساخت مدل و زمانی که مدل ذهنی (تعریف دقیق مسئله) تهیه شد، به عنوان اولین قدم سیستم در غالب نهادهایی که از شبکه متشکل از گره‌ها و شاخه‌ها عبور خواهند کرد، معرفی می‌شود. بنابراین اولین قدم در این معرفی، تعیین عناصری از این سیستم هستند که بعنوان نهاد در نظر گرفته می‌شوند. قدم دوم در مدل سازی بوسیله SLAM II، ترکیب کردن فعالیت‌های مختلف سیستم در یک شبکه می‌باشد. این شبکه فرآیندهای مختلفی را که یک نهاد باید انجام دهد و یا روی نهاد باید انجام شود را نشان می‌دهد. ترکیب شاخه‌ها و گره‌ها به صورت زبان کامپیوتری و شبکه گرافیکی امکان پذیر می‌باشد. نمایش شبکه گرافیکی مدل از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا کلیه فعالیت‌های سیستم را به وضوح نشان می‌دهد بسادگی قابل درک می‌سازد. توالی‌هایی از وقایع، فعالیت و تصمیم گیری که روی نهاد صورت می‌گیرد فرآیند نامیده می‌شود و نهاد باید از میان فرآیندها جریان یابد. برای هر نهاد می‌توان مشخصه و

یا مشخصه‌هایی را تعریف کرد تا نهادهای مختلف از هم تمیز داده شوند. هر نهاد وقتی در فرآیندهای سیستم جریان می‌یابد کلیه مشخصات خود را در تمام مراحل با خود همراه دارد. بعد از اجرای مدل نتایج، بصورت گزارشات خروجی ارائه می‌شود. گزارش خروجی مدل در ابتدا نام مدل‌ساز، تاریخ، شماره اجرای شبیه‌سازی، تعداد کل اجرای شبیه‌سازی، زمان اجرای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در قسمت Regular Activity Statistics، شماره فعالیت‌های مورد استفاده در مدل، متوسط تعداد نهادها در هر یک از این فعالیت‌ها، حداکثر تعداد نهادها در هر یک از فعالیت‌ها در طول شبیه‌سازی، تعداد نهادها در هر یک از فعالیت‌ها در حال حاضر و تعداد نهادهایی که از فعالیت عبور کرده‌اند، را نشان می‌دهد. قسمت بعد تعداد حداکثر و حداقل هر یک از متغیرهای وابسته را نشان می‌دهد. بخش بعدی گزارش، مقیاس نمودار و راهنمای استفاده از نمودار است.

### ۳- ارزیابی و سنجش اعتبار مدل

کلیه عملیات برنامه مدل فوق از طریق پارامتر TRACE با بررسی کلیه جزئیات و محاسبات ارزیابی گردید.

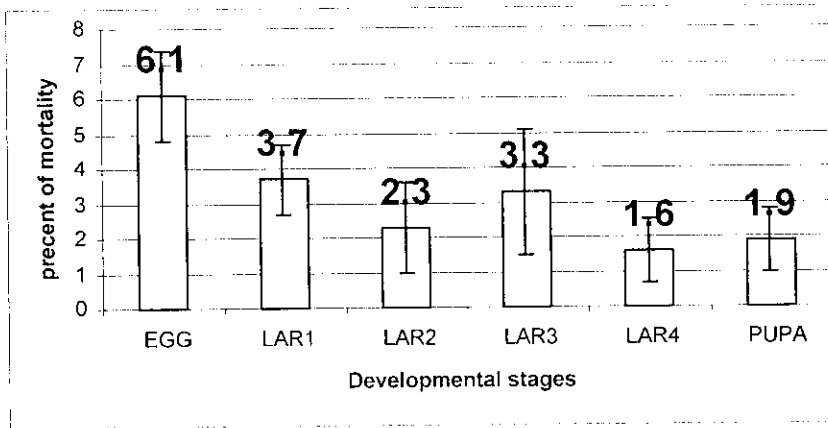
برای سنجش اعتبار مدل لازم بود تا خروجی بدست آمده از مدل با داده‌های حاصل از طبیعت در شرایط یکسان مورد مقایسه قرار گیرد. لذا دو سری داده، در شرایط گلخانه‌ای مشابه جمع‌آوری گردید. در این آزمایشات نمو ۱۰۶ و ۱۱۵ تخم سفید بالک گلخانه روی گوجه فرنگی تا پایان مرحله سفیرگی در میانگین دمای روزانه  $18 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد، رطوبت  $65 \pm 5\%$  و شرایط نوری ۸ ساعت نور و ۱۶ ساعت تاریکی بررسی و ثبت گردید. مدل نیز در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای شبیه‌سازی نمو مراحل نابالغ سفید بالک گلخانه حاصل از ۱۰۶ و ۱۱۵ تخم اجرا شد.

### نتیجه و بحث

#### پارامترها و متغیرهای مدل

بررسی مرگ و میر مراحل مختلف سنی سفید بالک گلخانه به عنوان یکی از پارامترهای مدل نشان داد که این پارامتر با محدوده دماهای بین ۱۶ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد

همبستگی نشان نمی‌دهد. لذا با توجه به قابلیت‌های نرم افزارهای کامپیوتری قابل دسترس و شرایط آزمایشات سنجش اعتبار مدل میانگین مقادیر جمع‌آوری شده از منابع در مدل بکار گرفته شده که در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲، میانگین تلفات مراحل سنی نابالغ سفید بالک گلخانه (SDEV).

Fig. 2. The mean of mortality percentage of greenhouse whitefly immature stages (SDEV).

دوره نمو مراحل مختلف سنی به عنوان یکی از متغیرهای مدل با استفاده از معادلات چند جمله ای درجه دو جهت استفاده در نرم افزار SLAM II بکار گرفته شد. شکل کلی معادلات، ضرایب آنها و همچنین ضرایب تبیین معادلات  $R^2$  ( ) در جدول یک برای هر یک از مراحل سنی ارائه شده است.

منحنی‌های حاصل از معادلات نیز در شکل ۳ ارائه شده است.

$$Dp = \alpha t^2 + \beta t + \gamma \quad (1)$$

در اینجا  $t$  دما و  $DP$  مخفف دوره نمو (Developmental Period) بر حسب روز است.



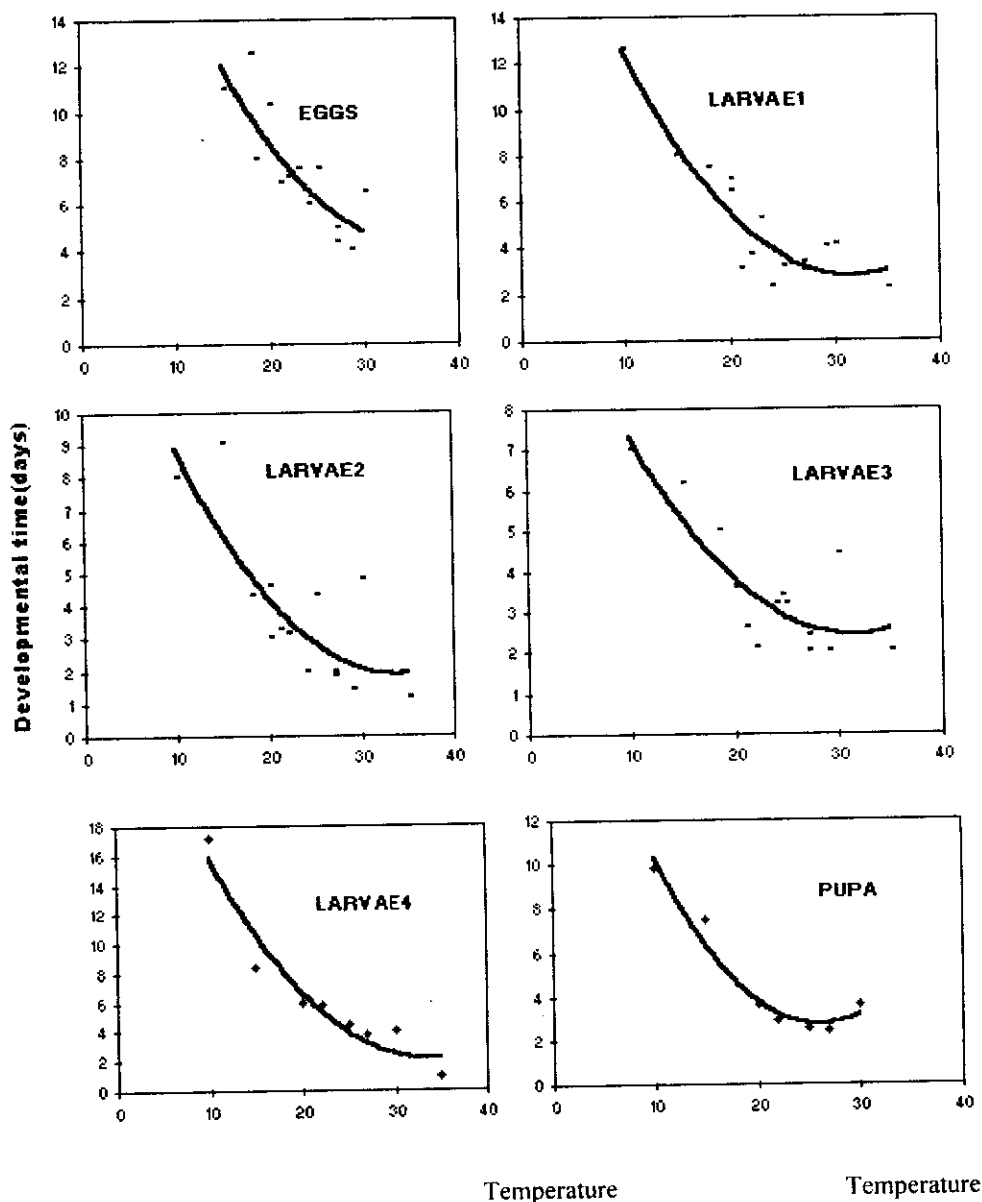
جدول ۱، ضرایب معادلات برای محاسبه دوره نمو مراحل مختلف سنی سفید بالک گلخانه.  
Table 1. Coefficients of equations to calculate life stages of greenhouse whitefly

مراحل سنی	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	P-value			$r^2$
				$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
تخم ۱	0.019	-1.3361	27.774	0.0415	0.02717	0.0339	0.70
لارو سن اول ۹	0.020	-1.3208	23.626	0.0043	0.0004	0.0000	0.85
لارو سن دوم ۴	0.012	-0.6372	16.015	0.0492	0.0218	0.0007	0.71
لارو سن سوم ۶	0.010	-0.6706	12.972	0.0478	0.0105	0.0002	0.72
لارو سن چهارم ۳	0.024	-1.6370	29.717	0.0419	0.0100	0.0010	0.93
شفیره ۱	0.029	-1.5209	22.624	0.0147	0.0059	0.0011	0.95

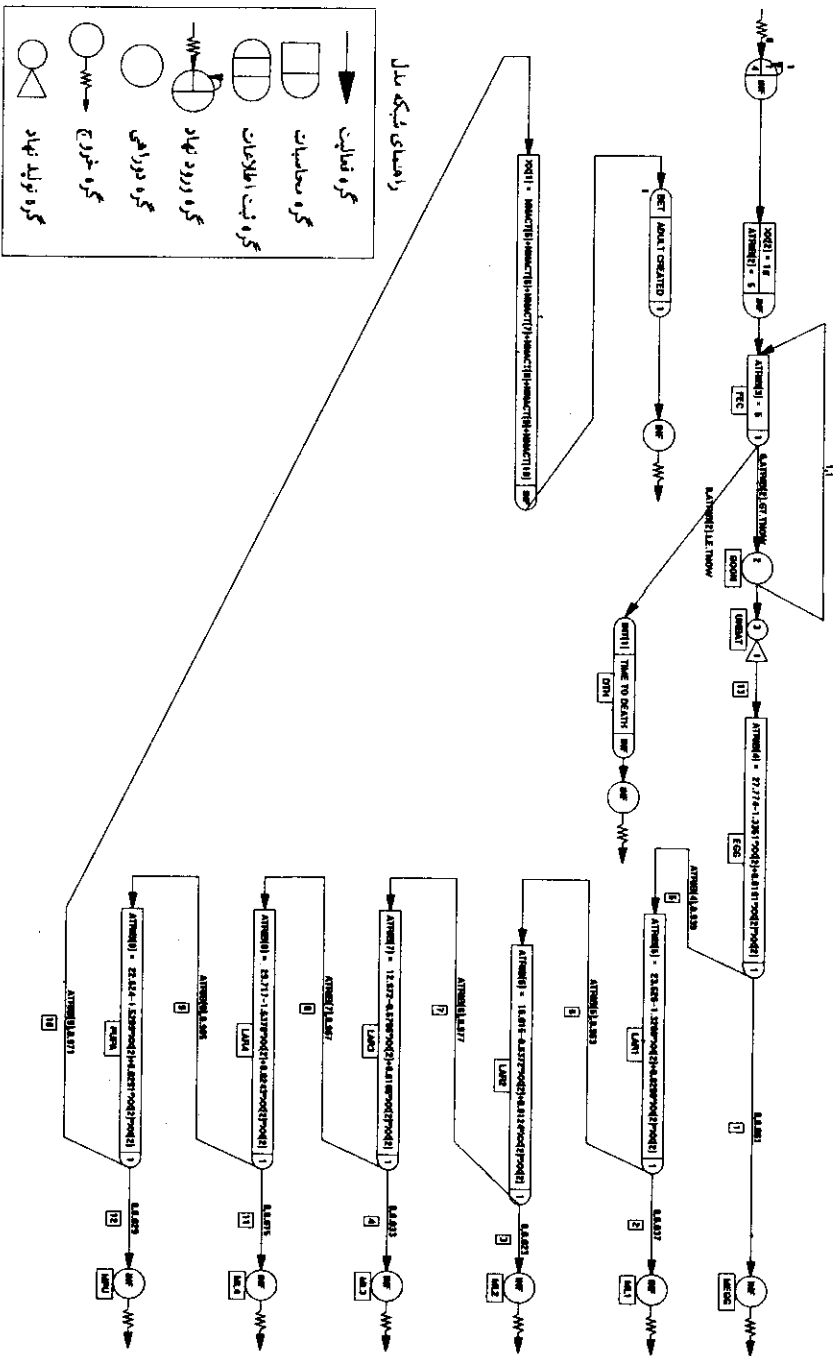
## ۲- شبکه مدل

در قسمت قبل نرخ‌های بکار گرفته شده در مدل را مطرح و بدست آوردیم. شکل ۴ نمودار شبکه‌ای مدل را با زبان شبیه سازی SIAM II برای دینامیسم سفید بالک گلخانه نشان می‌دهد.

در مدل، درجه حرارت با عبارت  $XX(2)$  با توجه به شرایط دمایی گلخانه در مرحله سنجش اعتبار مدل برای کل مراحل شبیه‌سازی بصورت میانگین ۱۸ درجه سانتی‌گراد تعریف شده است. مدل با تخم‌ریزی ماده‌های بالغ جفت‌گیری کرده روی برگ آغاز می‌شود. برای اجرای شبیه سازی، نمو ۱۰۰ عدد تخم تا پایان مرحله شفیرگی را در نظر می‌گیریم. در مدل فرض شده است که چهار عدد حشره ماده در مدت پنج روز با میانگین تولید تخم روزانه پنج عدد، این تعداد تخم را قرار می‌دهند. ماده‌ها طی این مدت هر روز بررسی شده و اگر طول



شکل ۳، دوره نمو مراحل نابالغ سفید بالک گلخانه در درجه حرارت های مختلف (سانتی گراد).  
 Fig. 3, Developmental duration of immature stages of greenhouse whitefly against different temperatures (Celsius degree).



شکل ۴: نمودار شبکه‌های مدل سیستم سفید بانک گلخانه.

Fig. 4. SLAM II network model for greenhouse whitchly system.

عمر اختصاص داده شده به آنها به پایان نرسیده باشد، به آنها اجازه داده می شود تا مجددا تخم‌ریزی نمایند. در غیر این صورت از مدل خارج می‌شوند. شماره روز شبیه سازی بعنوان روز تولد تخم‌های تولیدی به آنها اختصاص داده می‌شود.  $1/6\%$  از تخم‌های تولید شده بعنوان تلفات این مرحله از طریق گره مرگ از مدل خارج می‌شوند. مابقی بر اساس معادله (۱)، طول دوره رشد به آنها اختصاص داده می‌شود. و این مدت را در گره فعالیت شماره پنج تا اتمام مرحله تخم منتظر می‌مانند. بعد از طی شدن مدت فوق تخم‌ها تبدیل به لارو سن یک شده و تا قبل از بلوغ کلیه مراحل فوق برای تمامی سنین نابالغ انجام می‌گیرد. متن برنامه مدل شبیه‌سازی نمو مراحل نابالغ سفید بالک گلخانه با نرم افزار SLAM II ذیلا ارائه شده است.

```

CREATE,1,,1,1;
ACTIVITY;
ASSIGN,XX(2)=18,ATRIB(2)=5;
ACTIVITY,,,FEC;
FEC ASSIGN,ATRIB(3)=20,1;
ACTIVITY,,ATRIB(2).GT.TNOW,GOON;
ACTIVITY,,ATRIB(2).LE.TNOW,DTH;
GOON GOON,2;
ACTIVITY,1,,FEC;
ACTIVITY,,,UNBAT;
UNBAT UNBATCH,3,1;
ACTIVITY/13;
EGG ASSIGN,XX(3)=27.774-1.3361*XX(2)+0.0191*XX(2)*XX(2),
ACTIVITY/1,,0.061,MEGG;
ACTIVITY/5,ATRIB(4),0.939,LAR1;
MEGG TERMINATE;
LAR1 ASSIGN,XX(4)=23.626-1.3208*XX(2)+0.0209*XX(2)*XX(2),
ACTIVITY/2,,0.037,ML1;
ACTIVITY/6,ATRIB(5),0.963,LAR2;
ML1 TERMINATE;
LAR2 ASSIGN,XX(5)=16.015-0.6372*XX(2)+0.0124*XX(2)*XX(2),
ACTIVITY/3,,0.023,ML2;
ACTIVITY/7,ATRIB(6),0.977,LAR3;
ML2 TERMINATE;
LAR3 ASSIGN,XX(6)=12.972-0.6706*XX(2)+0.0106*XX(2)*XX(2),
ACTIVITY/4,,0.033,ML3;
ACTIVITY/8,ATRIB(7),0.967,LAR4;
ML3 TERMINATE;
XX(7)=29.717-1.637*XX(2)+0.0243*XX(2)*XX(2),1;
ACTIVITY/11,,0.015,ML4;
ACTIVITY/9,ATRIB(8),0.985,PUPA;
ML4 TERMINATE;
PUPA ASSIGN,XX(8)=22.624-1.5209*XX(2)+0.0291*XX(2)*XX(2),

```

ACTIVITY/12,,0.029,MPU;  
 ACTIVITY/10,TRIB(9),0.971,ZAAC;  
 MPU TERMINATE;  
 ZAAC  
 ASSIGN,XX(1)=NNACT(5)+NNACT(6)+NNACT(7)+NNACT(8)+NNACT(9)+NNACT(10);  
 ACTIVITY;  
 COLCT(1),BET,ADULT CREATED,,1;  
 ACTIVITY;  
 TERMINATE;  
 DTH COLCT,INT(1),TIME TO DEATH;  
 ACTIVITY;  
 TERMINATE;  
 END;

### ۳- ارزیابی و سنجش اعتبار مدل

در ارزیابی مدل با بررسی کلیه محاسبات در گزارش خروجی intermediate مدل (پارامتر trace فعال)، صحت کلیه محاسبات مورد تأیید قرار گرفت.

نتایج بدست آمده از نمو مراحل نابالغ حاصل از نمو ۱۰۶ تخم سفید بالک گلخانه در شرایط گلخانه‌ای و بدست آمده از مدل (جدول ۲) در شکل ۵ ارائه شده است. بیشترین نقطه اوج در هر دو نمودار بعد از تخم، مربوط لارو سن اول است. همچنین اوج جمعیت لارو سن چهارم در هر دو نمودار از لارو سن سوم بیشتر است ولی بر خلاف نتایج گلخانه‌ای بالاتر از منحنی لارو سن دوم واقع است در حالی که در مشاهدات گلخانه‌ای منحنی لارو سن دوم بالاتر از منحنی منحنی لارو سن چهارم قرار دارد. پائین‌ترین اوج جمعیت نیز در هر دو نمودار مربوط به شفیره است. البته نمودارهای مراحل مختلف سنی در شرایط گلخانه‌ای در مقایسه با مدل گستردگی کمتر و اوج بالاتری را نشان می‌دهد. این مطلب بیانگر این نکته است که در شرایط طبیعی سفید بالک گلخانه دوره زیستی خود را سریع‌تر تکمیل می‌نماید و تداخل مراحل زیستی در مقایسه با مدل کمتر است. البته این مطلب در خصوص تمام مراحل زیستی مصداق ندارد. در شکل ۶ مقایسه نمودارهای مراحل سنی مختلف حاصل از ۱۰۶ تخم سفید بالک گلخانه در شرایط گلخانه و مدل بطور مجزا ارائه شده است. هر دو منحنی نمو تخم با اختلاف شش روز شیب تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند. منحنی حاصل از مدل دوره زمانی طولانی‌تری را نشان می‌دهد. اوج جمعیت هر دو منحنی در یک زمان است با این تفاوت که نقطه اوج مدل پائین‌تر قرار دارد. مقایسه طول دوره نمو این مرحله نشان داد که بین مدل و

جدول ۲، خروجی مدل شبیه سازی نمو مراحل نابالغ حاصل از تخم سفید بالک گلخانه در دمای  $18 \pm 2$  درجه سانتی گراد.

Table 2, SLAM II summary report of development immature stages of 106 greenhouse whitefly eggs in  $18 \pm 2$  °C.

SLAM II SUMMARY REPORT  
 SIMULATION PROJECT INSECT BY RAHMAN TAFAGHODINIA  
 DATE 2/14/2000 RUN NUMBER 1 OF 1  
 CURRENT TIME .6012E+02  
 STATISTICAL ARRAYS CLEARED AT TIME .0000E+00  
 \*\*REGULAR ACTIVITY STATISTICS\*\*

ACTIVITY INDEX/LABEL	AVERAGE UTILIZATION	MAXIMUM UTIL	CURRENT UTIL	ENTIRE COUNT
2	.0000	1	0	11
3	.0000	1	0	5
4	.0000	1	0	3
5	15.6677	94	0	94
6	10.0100	61	0	89
7	11.8207	57	0	86
8	5.7249	31	0	83
9	11.7791	48	0	81
10	6.9691	23	0	80
11	.0000	1	0	2
12	.0000	1	0	1
13	.0000	21	0	106

\*\*TABLE NUMBER 1\*\*  
 RPN NUMBER 1

DAYS	ADULT LARVE4	EGG PUPA	LARVE1	LARVE2	LARVE3
MINIMUM	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
MAXIMUM	.0000E+00	.8400E+02	.6000E+02	.5600E+02	.2800E+02

\*\*PLOT NUMBER 1\*\*  
 RUN NUMBER 1

SCALES OF PLOT

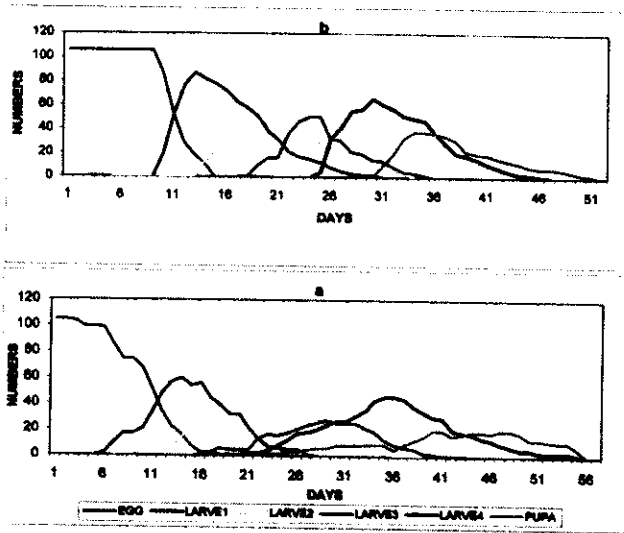
	A	E	R
A=ADULT	.000E+00	.60E+02	.120E+03
E=EGG	.00E+00	.60E+02	.120E+03
1=LARVE1	.000E+00	.60E+02	.120E+03
2=LARVE2	.000E+00	.60E+02	.120E+03
3=LARVE3	.000E+00	.60E+02	.120E+03
4=LARVE4	.000E+00	.60E+02	.120E+03
P=PUPA	.000E+00	.60E+02	.120E+03

DAYS 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 DUPS

```

DAYS100E+01 A
.200E+01 A
.300E+01 A
.400E+01 A
.500E+01 A
.600E+01 +
.700E+01 A1
.800E+01 A 1
.900E+01 A2 1
.100E+02 +
.110E+02 A 2 1
.120E+02 A 2 1
.130E+02 A 2 1
.140E+02 A 2 E
.150E+02 A 2 E
.160E+02 A E 2
.170E+02 AE 2
.180E+02 AE 2 1
.190E+02 A 3 12
.200E+02 A 3 1
.210E+02 +
.220E+02 A4 1
.230E+02 A4 13
.240E+02 A 4 3
.250E+02 AP 1 3
.260E+02 AP1 4 3
.270E+02 AP1 4 3 2
.280E+02 A P 4 3 2
.290E+02 A P 4 3 2
.300E+02 A P 2 3
.310E+02 A P 2 3
.320E+02 +
.330E+02 A P 2 3 4
.340E+02 A 2 3 4
.350E+02 A 2 3 4
.360E+02 A2 P3 4
.370E+02 A 3P 4
.380E+02 A 3 P 4
.390E+02 A 3 P 4
.400E+02 A3 P 4
.410E+02 A3 P 4
.420E+02 A P 4
.430E+02 A 4
.440E+02 +
.450E+02 A 4
.460E+02 A 4 P
.470E+02 A 4 P
.480E+02 A 4 P
.490E+02 A 4 P
.500E+02 +
.510E+02 A4 P
.520E+02 A4 P
.530E+02 +
.540E+02 A4 P
.550E+02 A P
.560E+02 AP
.570E+02 +
.580E+02 +
.590E+02 A
.600E+02 A
  
```

DAYS 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 DUPS



شکل ۵، تعداد افراد مراحل نابالغ زیستی حاصل از ۱۰۶ تخم سفید بالک گلخانه در دمای  $18 \pm 2$  درجه سانتی گراد (a) شبیه سازی (b) مشاهدات گلخانه‌ای.

Fig. 5. Number of immature greenhouse whitefly stages from 106 eggs (a) simulation (b) observation.

مشاهدات گلخانه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ( $P < 0.001$ ). در منحنی‌های لارو سن اول تطابق طول دوره، بخوبی مشاهده می‌شود. اوج جمعیت هر دو در یک زمان اتفاق می‌افتد و بالاترین نقطه اوج را نسبت به سایر مراحل سنی دارند. این نکته بیانگر این مطلب است که لاروهای سن اول در این زمان تعداد قابل ملاحظه‌ای از کل جمعیت را شامل می‌شوند و طول دوره زیستی طولانی‌تری دارند. تنها تفاوت بین منحنی مدل و مشاهدات گلخانه‌ای پائین‌تر بودن نقطه اوج منحنی مدل در مقایسه با منحنی حاصل از مشاهدات گلخانه‌ای است مقایسه

طول دوره نمو این مرحله نشان داد که بین مدل و مشاهدات گلخانه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بیشترین تشابه از نظر شکل منحنی، محل زمانی و ارتفاع نقطه اوج در هر دو منحنی مدل و مشاهدات گلخانه‌ای در مرحله سنی لارو سن دوم اتفاق افتاده است. مقایسه طول دوره نمو این مرحله نشان داد که بین مدل و مشاهدات گلخانه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. البته دوره زمانی حضور مرحله سنی دوم در مدل بیشتر است این مطلب در مراحل سنی بعدی بطور مخصوص‌تری قابل مشاهده است. در مجموع در منحنی‌های بدست آمده از مدل هر چه به سمت مراحل زیستی انتهایی می‌رویم حداکثر تعداد افراد مراحل سنی کمتر شده و زمان حضور آنها افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه طول دوره نمو مراحل لارو سن سوم، چهارم و شفیگی نشان داد که بین مدل و مشاهدات گلخانه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود دارد ( $P < 0.008$  برای لارو سن سوم و  $P < 0.001$  برای لارو سن چهارم و شفیگی).

مجموع کل دوره نابالغ زیستی در مدل ۵۶ روز و در شرایط گلخانه‌ای ۵۲ روز است که تفاوتی معادل چهار روز را نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده از نمو مراحل نابالغ حاصل از ۱۱۵ تخم در شرایط گلخانه‌ای و مدل در شکل ۷ ارائه شده است (جدول ۳) مجموع کل دوره زیستی در مدل ۵۸ روز و در شرایط گلخانه‌ای ۵۲ روز است که تفاوتی معادل شش روز را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی نمو ۱۱۵ تخم تا مرحله شفیگی با نتایج حاصل از مشاهدات گلخانه‌ای همانند نتایج حاصل از بررسی نمو ۱۰۶ تخم سفید بالک گلخانه بود (شکل ۸) مقایسه طول دوره نمو مراحل تخم، لارو سن اول و لارو سن دوم تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ( $P < 0.008$  برای تخم و  $P < 0.001$  برای لارو اول و دوم). مقایسه طول دوره نمو مراحل لارو سن سوم، چهارم و شفیگی نیز نشان داد که بین مدل و مشاهدات گلخانه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود دارد. ( $P < 0.005$  برای لارو سن سوم، لارو سن چهارم و شفیگی).

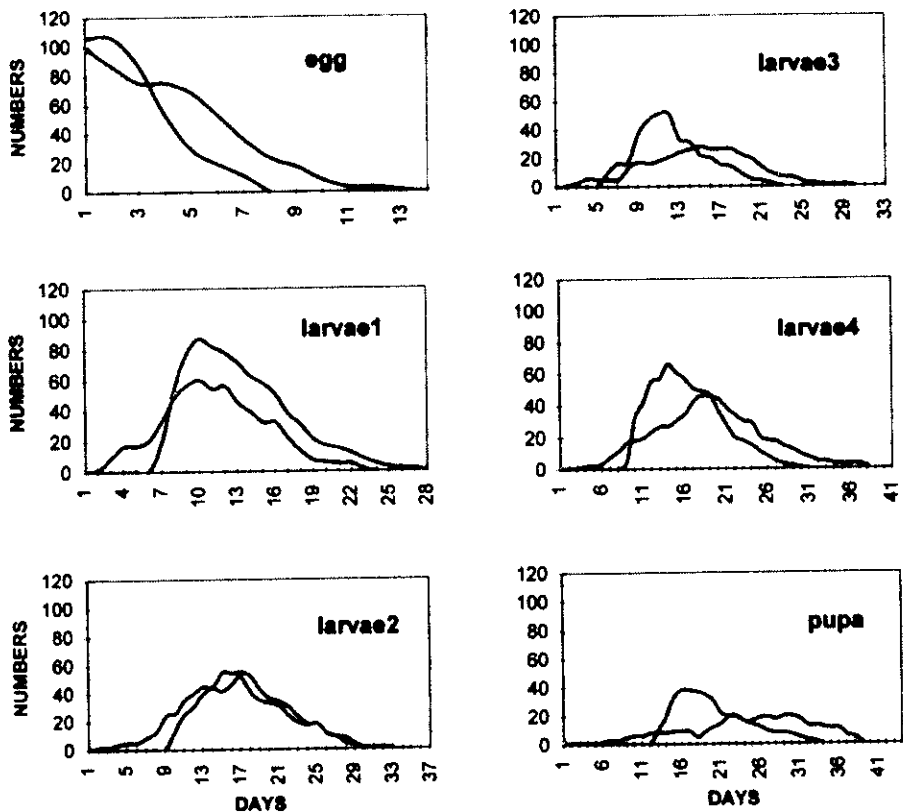
با توجه به نسبی بودن تعریف سیستم، ممکن است آنچه که در حال حاضر برای ما سیستم محسوب می‌شود از دیدگاهی دیگر خود جزیی از یک سیستم باشد. در این تحقیق سفید بالک گلخانه و بعضی از اجزاء پیرامون آن بعنوان یک سیستم در نظر گرفته شده است. محدوده یک سیستم شامل عواملی است که بعنوان پارامترها و یا اجزاء ورودی برای سیستم



جدول ۳، خروجی مدل شبیه سازی نمو مراحل نابالغ حاصل از ۱۱۵ تخم سفید بالک گلخانه در دمای  $18 \pm 2$  درجه سانتی گراد.

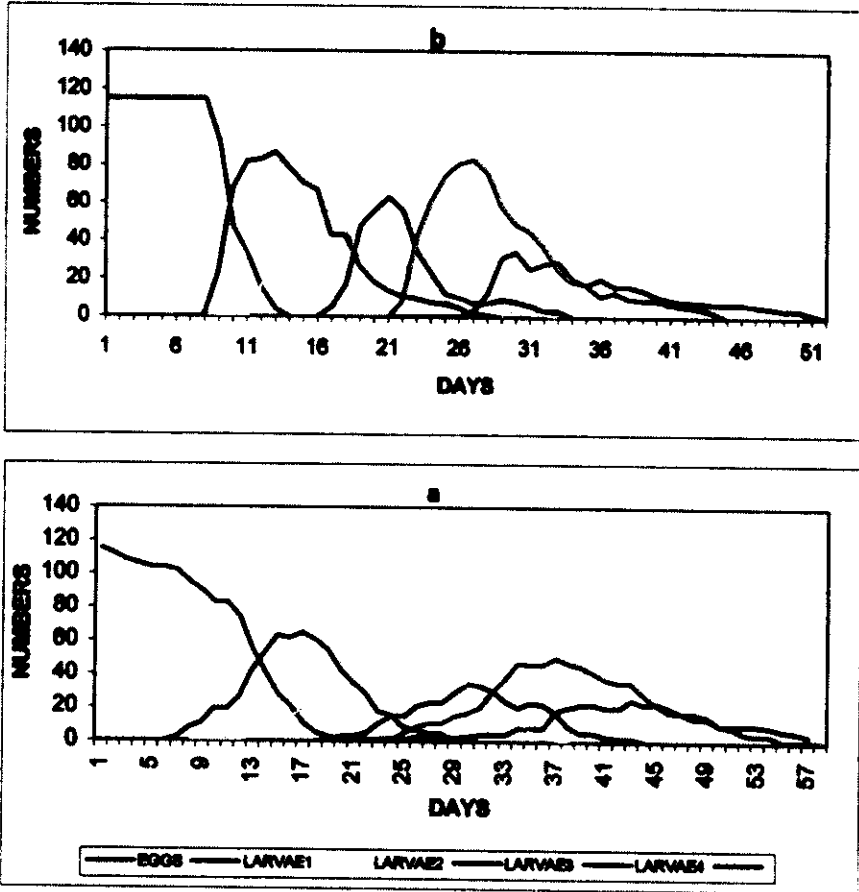
Table 3, SLAM II summary report of development immature stages of 115 greenhouse whitefly eggs in  $18 \pm 2^\circ\text{C}$ .

SLAM II SUMMARY REPORT					
SIMULATION ORGANITE INSECT		BY BAHAM TAVAKOLIAN			
DATE: 7/14/05		RUN NUMBER: 1 OF 1			
CURRENT TIME: 4.00E+00		STATISTICAL ARRAYS CLEARED AT TIME: 0.00E+00			
**PLANT ACTIVITY STATISTICS**					
ACTIVITY	AVERAGE	MAXIMUM	CURRENT		
INDEX LABEL	START/END	MIN	UTIL		
1	.0000	1	0		
2	.0000	1	0		
3	.0000	1	0		
4	.0000	1	0		
5	1.72E+02	104	0		
6	11.06E+01	64	0		
7	13.04E+01	64	0		
8	6.20E+01	36	0		
9	12.44E+01	24	0		
10	6.44E+01	27	0		
11	.0000	1	0		
12	.0000	1	0		
13	.0000	1	0		
**TABLE NUMBER 1**					
DAYS	ADULT	EGGS	LARVE1	LARVE2	LARVE3
MINIMUM	.000E+00	.050E+00	.900E+00	.300E+00	.300E+00
MAXIMUM	.300E+00	.104E+03	.650E+02	.630E+02	.350E+02
**PLOT NUMBER 1**					
MIN NUMBER :					
SCALED OF PLOT					
A+ADULT	.000E+00				.120E+03
E+EGG	.000E+00				.120E+03
1=LARVE1	.000E+00				.120E+03
2=LARVE2	.000E+00				.120E+03
3=LARVE3	.000E+00				.120E+03
4=LARVE4	.000E+00				.120E+03
P+PCFA	.000E+00				.120E+03
DAYS					
0	A	E			
10	A	E			
20	A	E			
30	A	E			
40	A	E			
50	A	E			
60	A	E			
70	A	E			
80	A	E			
90	A	E			
100	A	E			



شکل ۶، تعداد افراد مراحل سنی حاصل از ۱۰۶ تخم سفید بالک گلخانه در دمای  $18 \pm 2$  درجه سانتی گراد (شیبه سازی — مشاهدات گلخانه‌ای —)

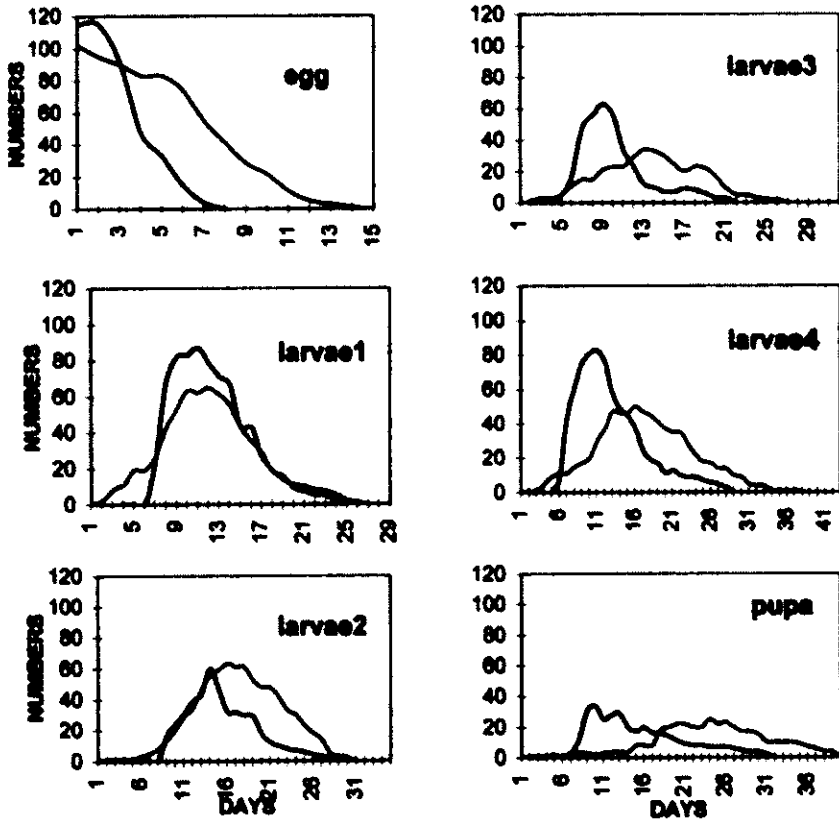
Fig. 6. Numbers of immature greenhouse whitefly stages from 106 eggs in  $18 \pm 2$  °C (simulation — observation —)



شکل ۷. تعداد افراد مراحل نابالغ زیستی حاصل از ۱۱۵ تخم سفید بالک گلخانه در دمای  $18 \pm 2$  درجه سانتی گراد (a) شبیه سازی (b) مشاهدات گلخانه‌ای.

Fig. 7, Number of immature greenhouse whitefly stages from 115 eggs (a) simulation (b) observation

در نظر گرفته می‌شود. عواملی که خارج از مرزها و در محدوده سیستم هستند و می‌توانند بر عملکرد سیستم تاثیر گذار باشند، محیط سیستم را تشکیل می‌دهند. گیاه میزبان، دشمنان طبیعی و عوامل فیزیکی محیطی مانند دما، رطوبت، نور و ... از جمله اجزاء محیط سیستم سفید بالک گلخانه است. میزان تاثیر گذاری اجزا محیط بر سیستم متفاوت است. با شناخت



شکل ۸. تعداد افراد مراحل سنی حاصل از ۱۱۵ تخم سفید بالک گلخانه در دمای  $18 \pm 2$  درجه سانتی گراد ( شبیه سازی — مشاهدات گلخانه ای — )

Fig. 8. Numbers of immature greenhouse whitefly stages from 115 eggs in  $18 \pm 2$  C (simulation — observation —)

بیشتر سیستم از مدل‌های اولیه و یافتن این نکته که یک یا چند عامل محیطی بر رفتار سیستم تاثیر گذار است، می‌توان محدوده سیستم را طوری گسترش داد که شامل این عوامل نیز بشود. مدل سفید بالک گلخانه که در شکل ۱ ارائه شده است. بیانگر بخشی از اجزاء محیط اکوسیستم است که در محدوده مدل مورد نظر این بررسی واقع است. مدل شبیه‌سازی این سیستم، روند رشد و نمو تک تک افراد جمعیت را با استفاده از نرم افزار SLAM II طراحی و اجرا نموده است. SLAM II زبان برنامه نویسی شبیه سازی بر اساس روش‌های مهندسی است که در اصل برای مدل سازی فرآیندهای تولیدات صنعتی توسعه داده شده است. اما بعد

از مدت زمان کوتاهی، کاربرد آن در آنالیز ریسک، ارزیابی سیستم‌های امنیتی، آنالیز جریان کار بیمه، شبیه سازی خودکار انبارها، آنالیز سیستم تولیدات شیمیایی و هزاران کاربرد دیگر آن در مهندسی صنعتی و علوم مدیریت آشکار شد. مشخصه جذب کننده SLAM II، قابلیت آن در توانایی پوشش مسائل سازمان یافته با زبان‌های کامپیوتری موسوم در مدل‌های شبیه سازی است. بسیاری از مدل‌های شبیه سازی در کشاورزی و علوم زیستی با نرم افزارهای فرترن، بیسیک و ... نوشته شده اند. استفاده از هر یک از این زبان‌ها نیاز به محققینی دارد که دانش کافی از زبانی که با آن کار می کنند داشته باشند و یا بک برنامه نویس حرفه ای در اختیار داشته باشند. مورد اول نیاز به صرف زمان زیاد و دومی نیاز به هزینه بسیاری دارد. توسعه سیستم‌های تلفیقی برای مدیریت آفات انواعی از تولیدات کشاورزی بطور گسترده‌ای بصورت یک عملیات بر مبنای فعالیت‌های شبیه‌سازی در آمده است. استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی عمومی برای این کار تلاش چندین برابر را می طلبد. نرم افزار SLAM II توانایی پوشش کلیه این محدودیت‌ها را دارد. بسیاری از توابع بسادگی و سرعت قابل دسترس و اجرا هستند. در صورت نیاز به فرآیند تابع خاصی بسادگی با نوشتن زیر برنامه‌ها اضافه خواهند شد. کلیه مدل‌های زمانی گسسته، پیوسته و ترکیبی می تواند با این نرم افزار نوشته شود. یکی از مفید ترین خصوصیات زبان SLAM II قابلیت ردیابی (TRACE) جریان برنامه در طی فرآیند شبیه سازی است. این ابزار اشکال زدایی، بسیار با ارزش بوده و زمان ساخت و توسعه مدل را بطور معنی داری کاهش می‌دهد. نرم افزار SLAM II محققین را از صرف زمان برای کارهای مربوط به برنامه نویسی خلاص نموده و اجازه می دهد تا تاکید و تفکر بیشتری را روی فرآیندهای بیولوژیکی سیستم تحت مطالعه متمرکز سازد (Pritsker 1986).

مدل ارایه شده، نمو تمامی مراحل سنی نابالغ سفید با لک گلخانه را شبیه‌سازی نموده است. با استفاده از این مدل می توان در دمای بین ۲۵-۱۶ درجه سانتی‌گراد در شرایط گلخانه‌ای وضعیت نمو مراحل نابالغ سنی را پیش بینی نمود. مقایسه مشاهدات گلخانه‌ای و مدل در خصوص نمو مراحل نابالغ نشان داد طول دوره نمو مراحل نابالغ در مدل در مراحل انتهایی دوره زندگی تفاوت معنی داری را با مشاهدات گلخانه‌ای دارد. این تفاوت‌ها را می‌توان به علت در نظر گرفتن میانگین درجه حرارت در مدل در نظر گرفت و از طرفی با توجه به اینکه در مدل محاسبات هر مرحله سنی بر اساس مرحله سنی قبل صورت می‌گیرد بنابراین برای

مراحل نه انتهایی بروز خطا افزایش می‌یابد. لذا پیشنهاد می‌شود برای پیاده سازی دقیق‌تر مدل در دماهای متغیر در شبانه روز، اثر دما را به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل رشد جمعیت بصورت جدول دما - زمان با فواصل زمانی کوتاه (حتی یک ساعت) تهیه و در نرم افزارهایی که قابلیت اجرای چنین مدل‌هایی را دارند اجرا نمود. همچنین در مراحل توسعه و تکمیل مدل، پارامترهای دیگر مؤثر در سیستم سفیدبالک گلخانه مانند رطوبت، نور، دشمنان طبیعی شامل پارازیتوئید، شکارچی و عوامل بیماری‌زا کمی شده و بعنوان اجزاء مدل وارد مدل شوند. تا مدل پیچیده تر و کاملتر شده و دقت پیش‌گویی‌های آن افزایش یابد.

### سیاسگری

قسمتی از این تحقیق در بخش مبارزه بیولوژیک موسسه تحقیقات آفات و بیماری‌های گیاهی انجام گرفته است که جا دارد از همکاران محترم این بخش تشکر نمایم

---

نشانی نگارندگان: مهندس بهرام تقفدی‌نیا، دکتر علاءالدین ملک و دکتر کریم کمالی، گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی ۱۴۱۵۵/۴۸۳۸، تهران، ایران؛ دکتر قدیر نوری قنبلانی، دانشگاه محقق اردبیلی، صندوق پستی ۷۹، اردبیل، ایران.