

دینامیسم جمعیت پسیل معمولی پسته و ارزیابی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و عصبی - ژنتیک در پیش‌بینی انبوهی جمعیت آفت

سمانه غلامی مقدم^۱ - ناصر معینی نقده^{۲*} - لیلا ندرلو^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۲

چکیده

در این بررسی، پویایی جمعیت پسیل معمولی پسته و پیش‌بینی تغییرات جمعیت آفت در شهرستان مهولات استان خراسان رضوی بررسی شد. نمونه‌برداری‌های هفتگی در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ از جمعیت پوره و حشره‌ی کامل پسیل معمولی پسته در باغ پسته رقم اکبری انجام شد. روش شبکه عصبی مصنوعی با پرسپترون چندلایه و روش ترکیبی شبکه عصبی - ژنتیک جهت پیش‌بینی جمعیت مورد استفاده قرار گرفت. میانگین دما، میانگین رطوبت نسبی، میانگین بارندگی، سرعت باد، جهت باد و جمعیت دشمنان طبیعی ورودی‌های مدل و جمعیت حشرات کامل و پوره‌ها خروجی مدل بودند. بررسی منحنی‌های تغییرات جمعیت حاکی از وجود پنج نسل از آفت بود. مقایسه‌ی میانگین جمعیت حشره کامل و پوره‌ی پسیل معمولی پسته بین دو سال نمونه‌برداری حاکی از بالاتر بودن جمعیت در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ بود ولی این تفاوت تنها در مورد پوره معنادار بود. مقدار R^2 (مرحله آزمون) برای جمعیت حشره کامل پسیل معمولی پسته به ترتیب در روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، عصبی-ژنتیک و رگرسیون خطی برابر $0/61$ ، $0/73$ و $0/32$ و مقدار RMSE (مرحله آزمون) به ترتیب $0/233$ ، $0/083$ و $31/79$ حاصل شد. در مدل‌سازی تغییرات جمعیت پوره‌ی پسیل مقدار R^2 برابر $0/84$ ، $0/88$ و $0/22$ و مقدار RMSE برابر $0/051$ ، $0/051$ و $48/03$ به ترتیب در روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، عصبی-ژنتیک و رگرسیون خطی به دست آمد. مقدار پایین RMSE در روش عصبی-ژنتیک پایین بودن خطا و دقت بالای مدل را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر پایین R^2 مدل رگرسیونی این روش نتوانست بخشی از تغییرپذیری تراکم جمعیت پسیل معمولی پسته را به‌وسیله عوامل کمکی به کار گرفته شده توجیه کند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، پسیل معمولی پسته، پویایی جمعیت، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، متغیرهای آب‌وهوایی

مقدمه

پیش‌بینی انبوهی جمعیت با استفاده از روش‌های رایج چندان قابل اعتماد نیست (۳). تجزیه رگرسیون روش آماری رایج برای بررسی و مدل‌سازی رابطه‌ی بین متغیرهاست (۲۰). اما تجزیه تحلیل و پیش‌بینی پویایی جمعیت در طبیعت به‌علت وجود داده‌هایی که اغلب فاقد توزیع نرمال هستند، با استفاده از روش‌های رایج مشکل است. این داده‌های غیرنرمال نشان‌دهنده‌ی تأثیر عوامل داخلی و خارجی مختلف مانند فیزیولوژی، رقابت، شکارگری و پارازیتیسیم و عوامل آب‌وهوایی است (۳).

داده‌کاوی یک علم میان‌رشته‌ای است که حوزه‌های گوناگون مانند پایگاه داده، آمار، یادگیری ماشین و سایر زمینه‌های مرتبط را با هم تلفیق می‌کند تا به اطلاعات نهان و یا الگوها و روابط مشخص در حجم زیادی از داده‌ها در یک بانک اطلاعاتی بزرگ دسترسی یابد. در واقع داده‌کاوی منحصر به گردآوری و مدیریت داده‌ها نبوده و تجزیه و تحلیل اطلاعات و پیش‌بینی را نیز شامل می‌شود (۸). با استفاده از روش داده‌کاوی ارتباط بین عوامل زنده و غیرزنده با جمعیت مد نظر در نقاط اندازه‌گیری شده کشف می‌شود، سپس این مدل توسعه‌یافته به‌منظور پیش‌بینی جمعیت در نواحی که نمونه‌برداری نشده است،

آگاهی از تغییرات جمعیت آفات برای تدوین برنامه‌های مدیریت تلفیقی ضروری است. در پویایی جمعیت، برهم‌کنش‌های بین موجودات زنده با محیط زنده و غیرزنده‌ی پیرامون آن‌ها و پی‌آمدهای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. تغییر در تعداد افراد جمعیت، یکی از این پیامدهاست و تلاش می‌شود تا تغییر در طول زمان و یا مکان (پویایی جمعیت) توصیف شود (۱۹). پیش‌بینی تغییرات انبوهی جمعیت، نه تنها در یافتن تناوب‌های منظم موجود در کل دوره‌ی زندگی، بلکه برای اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی آفات نیز مورد نیاز است. با توجه به غیرخطی بودن و پیچیده بودن ماهیت پویایی جمعیت حشرات،

۱ و ۲- فارغ‌التحصیل دکتری حشره‌شناسی و استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

*- نویسنده مسئول: (Email: moeeny@razi.ac.ir)

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

پرسپترون چند لایه^۲، تابه پایه شعاعی^۳، و سیستم استنتاج فازی^۴ نشان داده که هر سه مدل نسبت به روش رایج رگرسیون خطی عملکرد بهتری داشته‌اند (۲). شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی انبوهی جمعیت پروانه پشت الماسی، *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) و پارازیوتئید مرحله‌ی لاروی آن *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) مورد استفاده قرار گرفته است (۲۵). در مدل سازی تغییرات جمعیت سن گندم با کمک متغیرهای محیطی در شهرستان چادگان، شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه نسبت به رگرسیون خطی چندگانه ضریب تبیین بالاتر و دقت بالاتر داشته است (۵).

پسته جزء مهم‌ترین محصول صادراتی ایران است. تولید بیش از نیمی از پسته‌ی دنیا متعلق به ایران است و ایران مقام اول را از نظر میزان تولید پسته در جهان داراست (۶). در سال‌های اخیر، پسپیل معمولی پسته، *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Aphelinidae)، خسارت زیادی به باغ‌های پسته در نقاط مختلف پسته‌کاری ایران وارد کرده است. تغذیه‌ی پوره‌های جوان از شیرۀ گیاهی باعث ضعف گیاه، پوکی، ریزش جوانه‌ها و برگ‌ها شده، خسارت کمی و کیفی محصول را سبب می‌شود. علاوه بر آن تولید عسلک فراوان می‌کنند که در مجاورت هوا به سرعت خشک و موجب اختلال در فیزیولوژی گیاه و سوختگی برگ‌ها می‌شود (۲۲).

بررسی دینامیسم جمعیت حشرات و پیش‌بینی انبوهی جمعیت با استفاده از عوامل مختلف از دیدگاه مدیریتی بسیار حایز اهمیت است. در این تحقیق دینامیسم جمعیت پسپیل معمولی پسته در شهرستان مهولات و کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی با پرسپترون چند لایه و ترکیب آن با الگوریتم ژنتیک در تعیین نقش عوامل آب و هوایی و دشمنان طبیعی در پیش‌بینی انبوهی جمعیت پسپیل معمولی پسته مورد بررسی قرار گرفت و با روش رگرسیون خطی مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی دینامیسم جمعیت پسپیل معمولی پسته یک باغ پسته رقم اکبری در شهرستان مهولات استان خراسان رضوی انتخاب شد. نمونه‌برداری در طول فصل فعالیت پسپیل پسته در طبیعت، از فروردین تا آبان و طی دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به صورت هفتگی انجام شد.

جهت شمارش پوره‌ها در هر نوبت نمونه‌برداری پنج برگ از

مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹). شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان یکی از روش‌های جعبه سیاه این قابلیت را دارند که روابط منطقی بین پارامترهای ورودی و خروجی یک پدیده را بیان کنند. این شبکه‌ها بر مبنای مقایسه‌ی بین خروجی شبکه و هدف، تعدیل می‌شوند و تا زمانی که خروجی شبکه با خروجی هدف تطبیق پیدا کند، این کار ادامه می‌یابد (۱۳).

شبکه‌های عصبی پرسپترون^۱ به‌ویژه پرسپترون چند لایه، در زمره‌ی کاربردی‌ترین شبکه‌های عصبی می‌باشند. این شبکه‌ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و تعداد نوروها در هر لایه، یک نگاشت غیرخطی را با دقت دلخواه انجام دهند. شبکه‌های عصبی از دو ویژگی اساسی یادگیری بر اساس ارائه‌های تجربی، قدرت و توانایی تعمیم‌پذیری و ساختارپذیری موازی برخوردار می‌باشند و قادر به مدل‌سازی فرآیندهای غیرخطی هستند. یادگیری مستقیم از روی داده‌ها بدون نیاز به برآورد مشخصات آماری آن‌ها، قابلیت اطمینان بالا در حذف و تشخیص نوسانات غیرتصادفی در داده‌ها، توانایی کشف اثرات متقابل بین متغیرها و توانایی کاهش تاثیر متغیرهای غیرموثر بر مدل از طریق تنظیم پارامترهای داخلی از جمله ویژگی‌هایی است که موجب شده است شبکه عصبی مصنوعی بر روش‌های کلاسیک مدل‌سازی و پیش‌بینی از جمله رگرسیون برتری داشته باشد. شبکه‌های عصبی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله طبقه‌بندی، تشخیص الگو، پیش‌بینی و مدل‌سازی فرآیندها در علوم مختلف به‌کار گرفته می‌شوند (۱۸).

برای آنالیز داده‌های بوم‌شناختی و تعیین غنای گونه‌ای چهار راسته‌ی مهم حشرات آبزی (*Plecoptera*, *Ephemeroptera*)، شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. شبکه عصبی مصنوعی به‌صورت موفقیت‌آمیز قادر به تفکیک محل‌های نمونه‌برداری بر اساس غنای گونه‌ای و تعیین رابطه‌ی آن با متغیرهای محیطی بوده است (۲۱). پیش‌بینی پراکنش جهانی دو آفت مگس میوه مدیترانه‌ای (*Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) و پروانه ابریشم‌باف ناجور *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidae) بر اساس عوامل اقلیمی و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده صحت پیش‌بینی این مدل برای پراکنش هر دو گونه بالا بوده است (۲۶). شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی فرآیند بقا و توزیع مرگ‌ومیر *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) کارا و سودمند بوده است (۲۹). پیش‌بینی زنده‌مانی لاروهای *Chrysomya megacephala* (Diptera: Colliphoridae) با استفاده از سه مدل هوش مصنوعی شامل

2- Multi-Layer Perceptron

3- Radial Basis Function

4- Artificial Neural Network-Based Fuzzy Inference System

1- Multi Layer Perceptron

سیگموئیدی) و هم‌چنین عملکرد نامناسب الگوریتم یادگیری با داده‌های خام این امر ضروری به‌نظر می‌رسد. در غیر این صورت شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد و لذا نتایج مطلوب حاصل نخواهد شد.

$$X_n = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad \text{معادله ۲}$$

در معادله‌ی بالا، X_n داده‌ی نرمالیزه شده، x داده‌ی خام اولیه، X_{Max} و X_{min} به‌ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه‌ی داده‌های اولیه می‌باشد.

قبل از به‌کار بردن شبکه عصبی، وزن‌های ارتباط‌دهنده‌ی نورون‌های شبکه تعیین می‌شوند. به همین منظور تمام داده‌ها برای تدوین ساختار مدل به سه گروه تقسیم می‌شوند. اولین گروه داده‌ها، به‌عنوان داده‌های آموزش^۱ برای تعیین وزن‌های شبکه به‌کار می‌روند. دومین گروه از داده‌ها، که داده‌های اعتباری^۲ نامیده می‌شوند، برای ارزیابی نتایج مرحله آموزش و تصمیم‌گیری درخصوص توقف آموزش شبکه استفاده می‌شوند. تعیین دقت مدل و یا به‌عبارت‌آزمون مدل، با استفاده از سومین گروه داده‌ها، یعنی داده‌های آزمون^۳ که در تدوین مدل استفاده نشده‌اند، انجام می‌شود.

در این پژوهش از شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه و الگوریتم پس انتشار خطا و قانون یادگیری مارکوات-لونیگ استفاده شد. توابع فعالسازی و تعداد نورون‌های مختلف در لایه پنهان مورد آزمایش قرار گرفت و بهترین ساختار شبکه به‌دست آمد. استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و قانون یادگیری پس انتشار خطا چند محدودیت به همراه دارد از جمله عدم وجود یک روش دقیق برای انتخاب مناسب‌ترین توپولوژی شبکه، نوع توابع فعال سازی و پارامترهای مورد نیاز برای آموزش شبکه، سرعت پایین هم‌گرایی و هم‌چنین وابستگی هم‌گرایی قانون یادگیری پس انتشار خطا به انتخاب مقادیر اولیه‌ی وزن‌های شبکه، بردارهای بایاس و پارامترهای موجود در الگوریتم مانند نرخ یادگیری (۷). با توجه به معایب این روش، از الگوریتم ژنتیک ترکیب شده با شبکه عصبی (شبکه عصبی-ژنتیک) به‌عنوان یک الگوریتم بهینه‌کننده جهت افزایش سرعت هم‌گرایی و تعیین وزن‌های مناسب شبکه استفاده شد.

۵- ترکیب عصبی-ژنتیک

الگوریتم ژنتیک ابتدا تعدادی جواب اولیه به‌صورت تصادفی ایجاد می‌کند اما از آنجایی که انتخاب وزن‌های مناسب اولیه تاثیر به‌سزایی در پاسخ نهایی الگوریتم دارد، از بین جواب‌های به‌دست آمده تنها

جهت مختلف درخت جمع‌آوری و تعداد پوره‌های روی آن‌ها شمارش شد (یک واحد نمونه‌برداری پوره معادل پنج برگ). جهت شمارش حشرات کامل، از تله‌ی چسبنده‌ی زرد در ابعاد $15 \times 10 \times 15$ سانتی‌متر استفاده شد (یک واحد نمونه‌برداری حشرات کامل معادل یک تله چسبنده زرد رنگ). این تله‌ها در ارتفاع میانی درخت در سمت جنوبی نصب و در هر دوره نمونه‌برداری تعویض شدند. در هر نوبت نمونه‌برداری تعداد پوره‌های مومیایی شده توسط زنبورهای پارازیتوئید و شکارگرهای به‌دام افتاده در تله‌های چسبنده نیز شمارش شد. به منظور تعیین تعداد مناسب نمونه، از معادله ۱ استفاده شد.

$$N = \left[\frac{t \times SD}{D \times \bar{x}} \right]^2 \quad \text{معادله ۱}$$

N برابر تعداد نمونه‌ی مورد نیاز، t مقدار جدول t-student بر حسب درجه‌ی آزادی تعداد نمونه، SD ، انحراف معیار داده‌های نمونه برداری اولیه و D میزان خطای قابل قبول (۰/۲) می‌باشد. نمونه‌برداری از جمعیت پسیل معمولی پسته از اوایل فروردین و همزمان با فعال شدن پسیل‌های زمستان‌گذران آغاز و تا هنگام ریزش برگ‌ها به‌صورت منظم و هفتگی ادامه داشت. نمونه‌برداری در طول روز و بین ساعات نه تا ۱۱ صبح انجام شد.

۲- بررسی دینامیسم جمعیت پسیل معمولی پسته

با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در هر نوبت نمونه‌برداری، منحنی‌های تغییرات جمعیت حشرات کامل و پوره‌ها رسم و با توجه به نتایج به‌دست آمده، تعداد نسل و زمان اوج جمعیت در هر یک از نسل‌های پسیل معمولی پسته تعیین شد.

۳- رگرسیون خطی چندگانه

در این مطالعه داده‌های مربوط به متغیرهای آب‌وهوایی (میانگین دما، میانگین رطوبت نسبی، میانگین بارندگی، سرعت باد، جهت باد) و جمعیت دشمنان طبیعی به‌عنوان متغیر مستقل و جمعیت پسیل معمولی پسته به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل توسط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد.

۴- شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه

اساس آموزش شبکه‌های عصبی، بر مبنای روش آزمون و خطا می‌باشد تا بهترین آرایش لایه پنهان با تغییر تعداد لایه‌(های) پنهان و نورون‌های آن‌ها، نوع تابع محرک، الگوریتم آموزشی و تعداد تکرار مرحله آموزش جهت برآورد پارامتر خروجی مورد نظر، ارائه شود. قبل از به‌کارگیری داده‌های خام اولیه در آموزش شبکه، باید داده‌ها در دامنه‌ی مناسبی نرمالیزه شوند (معادله ۲). با توجه به دامنه‌ی تغییرات خروجی تابع فعالیت به‌کار گرفته شده در لایه مخفی (تانژانت

- 1- Training Data
- 2- Validation Data
- 3- Testing Data

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(obs-pre)^2}{n} \right)} \quad \text{معادله ۳}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (obs-obs)(pre-pre)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (obs-obs)^2 \sum_{i=1}^n (pre-pre)^2}} \quad \text{معادله ۴}$$

در روابط فوق، obs مقادیر مشاهده‌ای، \overline{obs} میانگین مقادیر مشاهده‌ای و pre مقادیر پیش‌بینی شده، \overline{pre} میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه و n تعداد کل داده‌ها در هر مرحله از آزمون‌های آموزش و آزمایش است.

درصد برتری نسبی (RI) جذر میانگین مربعات خطای بهترین مدل ورودی (اندیس b) نسبت به جذر میانگین مربعات خطای هر یک از مدل‌های دیگر (اندیس a) با استفاده از معادله ۵ تعیین شد:

$$RI = \frac{RMSE_a - RMSE_b}{RMSE_a} \times 100 \quad \text{معادله ۵}$$

نتایج و بحث

برنامه نمونه‌برداری

پس از انجام نمونه‌برداری اولیه و باتوجه به قابل قبول بودن مقدار RV، اندازه مناسب نمونه برابر ۱۵ درخت تعیین شد. در هر سال ۲۷ مرتبه نمونه‌برداری انجام شد.

تغییرات جمعیت پسیل معمولی پسته روی رقم اکبری در

سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

بررسی پویایی جمعیت پسیل معمولی پسته حاکی از وجود پنج نسل از آفت در منطقه مورد مطالعه بود. تاریخ شروع، پایان و اوج جمعیت حشرات کامل و پوره‌های پسیل معمولی پسته در هر یک از نسل‌ها به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

در سال ۱۳۹۴ نمونه‌برداری‌ها در تاریخ‌های زیر انجام شد:

۹۴/۱/۵، ۹۴/۱/۱۴، ۹۴/۱/۲۱، ۹۴/۱/۲۸، ۹۴/۲/۴، ۹۴/۲/۱۱، ۹۴/۲/۱۸، ۹۴/۲/۲۵، ۹۴/۳/۱، ۹۴/۳/۸، ۹۴/۳/۱۵، ۹۴/۳/۲۲، ۹۴/۳/۲۸، ۹۴/۴/۳، ۹۴/۴/۹، ۹۴/۴/۱۵، ۹۴/۴/۲۴، ۹۴/۵/۱، ۹۴/۵/۸، ۹۴/۵/۱۵، ۹۴/۵/۲۲، ۹۴/۵/۳۰، ۹۴/۶/۸، ۹۴/۶/۱۵، ۹۴/۶/۲۲، ۹۴/۶/۲۹، ۹۴/۷/۸، ۹۴/۷/۱۸.

اوج جمعیت حشرات کامل طی نسل‌های اول تا پنجم در سال ۱۳۹۴ در تاریخ‌های ۲۸ فروردین (۱۷/۸±۱/۵۵) عدد حشره کامل، اول خرداد (۴۱/۲۷±۳/۳۶) عدد حشره کامل، ۲۸ خرداد (۴۲/۰۶±۲/۴۹) عدد حشره کامل، ۲۴ تیر (۳۸/۸۷±۴/۰۵) عدد حشره کامل) و ۱۵ شهریور (۱۵۰/۲±۱۳/۲) عدد حشره کامل) و در سال

جواب‌هایی را به‌عنوان جمعیت اولیه انتخاب می‌نماید که دارای هزینه (برازندگی) قابل قبولی باشند. سپس جواب‌های اولیه انتخابی به صورت کروموزوم در می‌آیند. در مرحله بعد میزان برازندگی هر یک از اعضا (کروموزوم‌ها) در جمعیت، ارزیابی و تعیین می‌گردد و مرحله انتخاب بر اساس میزان برازندگی اعضا انجام می‌پذیرد. میانگین مجذور مربعات خطا (MSE) به‌عنوان تابع برازش هر کروموزوم از الگوریتم ژنتیک انتخاب شد. در پایان هر تکرار، ۱۰٪ از بهترین کروموزوم‌ها به همراه ۹۰٪ کروموزوم تولید شده تصادفی جدید انتخاب و به نسل بعد منتقل می‌گردند. فرآیند مذکور تا رسیدن به شرایط توقف الگوریتم ادامه می‌یابد. در پایان بهترین کروموزوم به‌عنوان وزن به شبکه عصبی مصنوعی اعمال می‌شود. به منظور تقاطع کروموزوم‌های منتخب والد و تولید کروموزوم‌های فرزند، از عملگر تقاطع یک نقطه‌ای^۱ استفاده شد. برای انتخاب کروموزوم‌های والد از رویکرد چرخ رولت^۲ بهره گرفته شد. پس از به‌کارگیری عملگر تقاطع، جهت بررسی گسترده‌تر فضای مسئله، از عملگر جهش^۳ نیز استفاده شد.

کروموزوم استفاده شده در این تحقیق دارای ۹ ژن می‌باشد. ژن اول تعداد ورودی‌ها را تعیین می‌کند و بازه قابل تغییر آن از یک تا حداکثر تعداد ورودی‌هایی است که در مجموعه داده‌ها در نظر گرفته شده است. ژن دوم تا چهارم مربوط به تعداد نورون در لایه‌های مخفی است. این ژن‌ها می‌توانند از عدد صفر تا ۱۵ تغییر کنند. در ادامه ژن‌های پنجم تا هفتم نوع تابع انتقال در هر یک از لایه‌های مخفی می‌باشد. ژن هشتم نوع تابع آموزش را تعیین می‌کند که می‌تواند عددی بین صفر تا ۱۸ باشد. ژن نهم مربوط به تعداد اپوک‌ها (تکرارها) در هنگام آموزش شبکه می‌باشد که عدد آن بین ۱۰ تا ۴۰۰ متغیر می‌باشد. اندازه هر نسل ۲۰ کروموزوم در نظر گرفته شد و تعداد نهایی نسل‌ها ۱۰۰ تنظیم شد.

میانگین دما، میانگین رطوبت نسبی، میانگین بارندگی، سرعت باد، جهت باد و جمعیت دشمنان طبیعی به‌عنوان ورودی مدل و جمعیت پسیل معمولی پسته (حشره کامل و پوره) به‌عنوان خروجی استفاده شد. داده‌های مربوط به اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی شهر فیض‌آباد گرفته شد.

به‌منظور ارزیابی و مقایسه‌ی نتایج حاصل از شبکه‌های به‌کار برده شده (عصبی و عصبی-ژنتیک) شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (معادله‌های ۳ و ۴). هرچه مقدار R^2 به یک و مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی دهنده نزدیک‌تر بودن مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده به یکدیگر و دقیق‌تر بودن جواب‌ها در هر مرحله است.

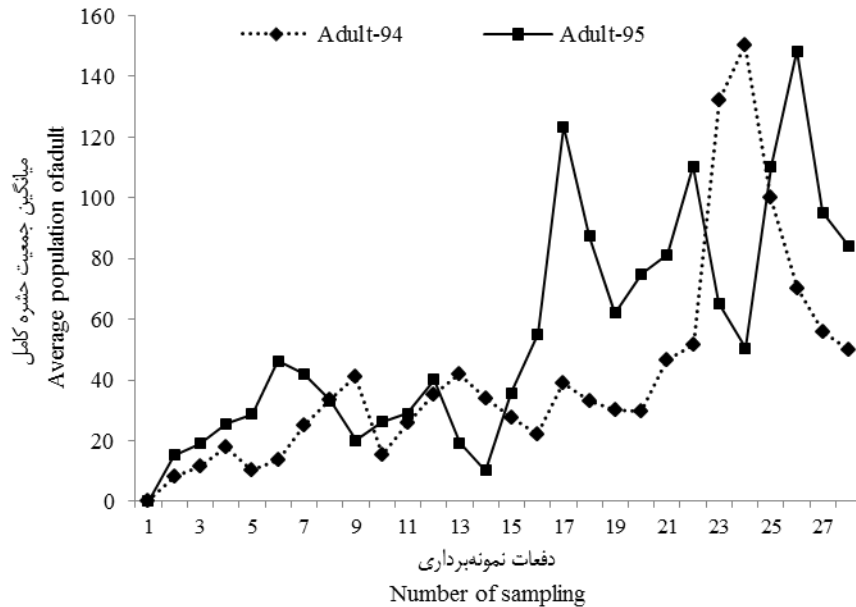
1- Single-Point Crossover

2- Roulette Wheel

3- Mutation

4- Relative Improvement

مشاهده شد. ۱۳۹۵ در تاریخ‌های چهارم اردیبهشت ($46/33 \pm 3/46$) عدد حشره کامل)، ۱۵ خرداد ($40/20 \pm 2/36$) عدد حشره کامل)، ۲۰ تیر ($123/33 \pm 10/87$) عدد حشره کامل)، ۲۴ مرداد ($110/40 \pm 6/03$) عدد حشره کامل) و ۲۲ شهریور ($148/30 \pm 9/87$) عدد حشره کامل)

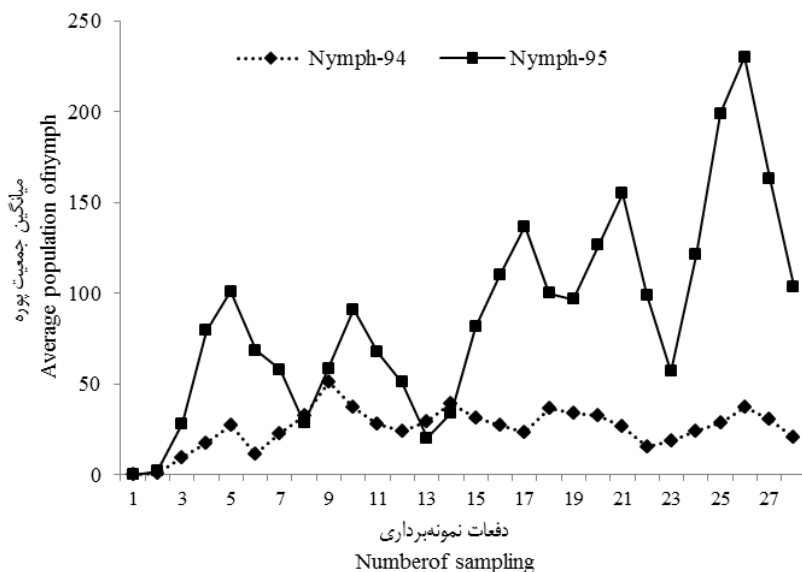


شکل ۱- تغییرات جمعیت حشره کامل پسپیل معمولی پسته روی رقم اکبری در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
Figure 1- Population fluctuations of *Agonosceua pistaciae* adult on Akbari variety of pistachio, 2015-2016

(به ترتیب در نسل‌های اول تا پنجم) ثبت شد.

در سال ۱۳۹۵، ۲۷ مرتبه نمونه‌برداری انجام شد. تاریخ‌های انجام نمونه‌برداری عبارتند از: ۹۴/۱۲/۲۹، ۹۵/۱/۷، ۹۵/۱/۱۴، ۹۵/۱/۲۱، ۹۵/۱/۲۸، ۹۵/۲/۴، ۹۵/۲/۱۱، ۹۵/۲/۱۸، ۹۵/۲/۲۵، ۹۵/۳/۱، ۹۵/۳/۸، ۹۵/۳/۱۵، ۹۵/۳/۲۲، ۹۵/۳/۳۰، ۹۵/۴/۶، ۹۵/۴/۱۳، ۹۵/۴/۲۰، ۹۵/۴/۲۶، ۹۵/۵/۲، ۹۵/۵/۱۰، ۹۵/۵/۱۷، ۹۵/۵/۲۴، ۹۵/۶/۱، ۹۵/۶/۸، ۹۵/۶/۱۵، ۹۵/۶/۲۲، ۹۵/۷/۱ و ۹۵/۷/۱۰.

در سال ۱۳۹۵، اوج جمعیت پوره‌ها در هر نسل در تاریخ چهارم اردیبهشت ($27/53 \pm 0/80$) عدد پوره)، اول خرداد ($51/07 \pm 3/62$)، سوم تیر ($39 \pm 1/26$) عدد پوره)، اول مرداد ($36/67 \pm 3/19$) عدد پوره) و ۲۹ شهریور ($37/53 \pm 3/45$) عدد پوره) و در سال ۱۳۹۵ در تاریخ‌های ۲۸ فروردین، اول خرداد، ۲۰ تیر، ۱۷ مرداد و ۲۲ شهریور با میانگین جمعیت $101 \pm 11/03$ ، $91 \pm 4/5$ ، $192/30 \pm 7/3$ و $162/28 \pm 3/11$ و $230/20 \pm 9/15$ عدد پوره در هر واحد نمونه‌برداری



شکل ۲- تغییرات جمعیت پوره پسیل معمولی پسته روی رقم اکبری در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۴
Figure 2- Population fluctuations of *Agonoscaena pistaciae* nymph on Akbari variety of pistachio, 2015-2016

پسیل معمولی پسته در پاییز و زمستان به دلیل ظهور فرم‌های بینابینی و زمستانگذران پسیل و ویژگی‌های زیستی و بوم‌شناختی این فرم‌ها می‌باشد. فرم بینابینی توانایی زادآوری بالایی دارد و موجب افزایش جمعیت این حشره در مهر و آبان می‌گردد (۱۵).
مقایسه‌ی میانگین جمعیت حشره کامل و پوره‌ی پسیل معمولی پسته بین دو سال نمونه‌برداری حاکی از بالاتر بودن جمعیت در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ بود ولی این تفاوت تنها در مورد پوره معنادار بود (جدول ۱).

بررسی تغییرات فصلی جمعیت پسیل معمولی پسته در منطقه رفسنجان در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ نشان داد که این آفت شش نسل کامل و یک نسل ناقص در سال دارد (۹). این آفت در منطقه دامغان پنج نسل کامل و یک نسل ناقص در سال دارد (۱ و ۴). در باغات پسته فیض‌آباد پنج نسل کامل و یک نسل ناقص در مورد پسیل معمولی پسته گزارش شده است (۱۱).
همان‌طور که در نمودارهای تغییرات جمعیت پسیل معمولی پسته دیده می‌شود در اواخر فصل و از شهریور به بعد جمعیت پسیل معمولی پسته در فضای باغ افزایش یافت. افزایش جمعیت حشرات کامل

جدول ۱- مقایسه‌ی میانگین جمعیت پسیل معمولی پسته (حشره کامل و پوره) و دشمنان طبیعی بین دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
Table 1- Mean comparison of common pistachio psylla (adult and nymph) and natural enemies between 2015 and 2016

	Mean±SE (2015)	Mean±SE (2016)	T	P-value
	Lower CL-Upper CL	Lower CL-Upper CL		
پوره (Nymph)	26.62±1.99 22.29-30.93	91.38±10.37 70.63-112.18	-6.13	<0.0001
حشره کامل (Adult)	42.65±6.67 28.19-57.10	56.99±7.15 42.69-71.29	-1.74	0.14
دشمنان طبیعی (Natural enemies)	4.54±0.89 2.7-6.39	1.67±0.61 -0.57-3.7	1.48	0.14

معنی‌داری در صورت $P < 0.05$ و عدم معنی‌داری در صورت $P > 0.05$
Significantly differentns if $P < 0.05$ and not significantly differentns if $P > 0.05$

تابستان در این دو سال مربوط بوده است (۹). در پژوهش حاضر بین دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ از نظر میانگین دما، رطوبت نسبی و بارندگی تفاوت معنادار وجود نداشت (جدول ۲).

در بررسی تغییرات جمعیت پسیل معمولی پسته در منطقه رفسنجان طی دو سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ تفاوت تراکم جمعیت پسیل معمولی پسته در دو سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ به تفاوت دمای بهار و

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین دما، رطوبت نسبی و بارندگی بین دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

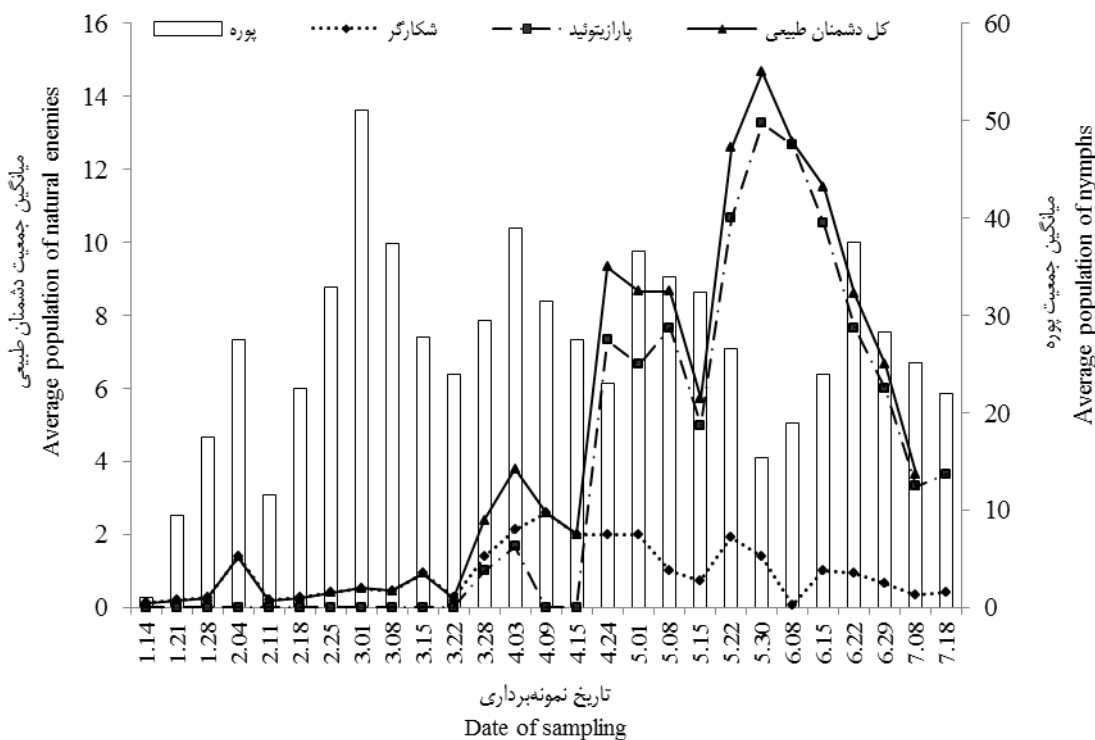
Table 2- Mean comparison of Temperature, relative humidity and rainfall between 2015 and 2016

	Mean ± SE (2015)	Mean ± SE (2016)	T	P-value
میانگین دما (Average temperature)	26.10±0.55	25.44± 0.96	0.6	0.55
میانگین رطوبت نسبی (Average relative humidity)	22.48±1.88	28.55±3.32	-1.59	0.11
میانگین بارندگی (Average rainfall)	0.067±0.04	0.21±0.11	-1/16	0.25

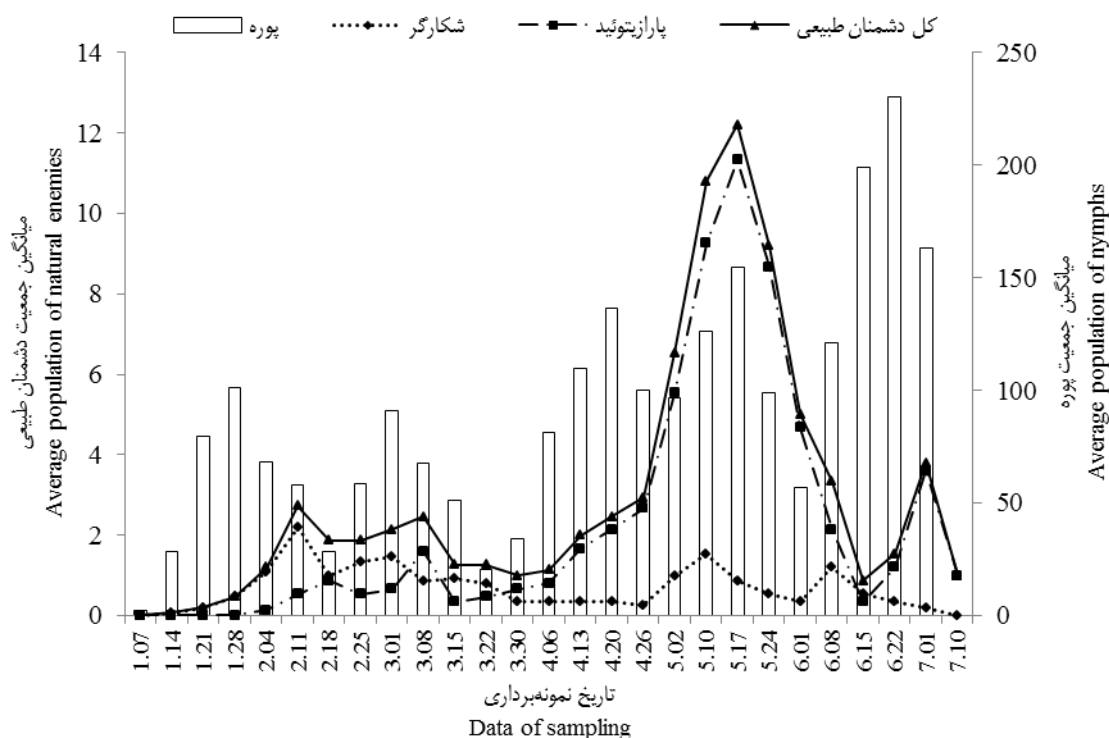
معنی‌داری در صورت $P < 0.05$ و عدم معنی‌داری در صورت $P > 0.05$
Significantly differentns if $P < 0.05$ and not significantns if $P > 0.05$

در سال ۱۳۹۵، بیشترین جمعیت شکارگر در تاریخ ۱۱ اردیبهشت (۲/۲۰ عدد شکارگر) ثبت شد. در سال ۱۳۹۵ فعالیت پارازیتوئیدها زودتر از سال ۱۳۹۴ شروع شد. اولین پسیل مومیایی در تاریخ چهارم اردیبهشت و بیشترین جمعیت پسیل‌های مومیایی شده در تاریخ ۱۷ مرداد (۱۱/۳۳ عدد) مشاهده شد.

جمعیت دشمنان طبیعی در سال ۱۳۹۴ بیشتر از سال ۱۳۹۵ بود ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۱). در تاریخ ۲۸ خرداد اولین پسیل مومیایی شده مشاهده شد و سپس به دنبال بالارفتن جمعیت پوره‌ی پسیل معمولی پسته، جمعیت پارازیتوئید هم در باغ افزایش یافت. بیشترین جمعیت دشمنان طبیعی (مجموع شکارگر و پارازیتوئید) در تاریخ ۳۰ مرداد (۱۴/۶۷ عدد دشمن طبیعی) مشاهده شد.



شکل ۳- تغییرات جمعیت دشمنان طبیعی در سال ۱۳۹۴
Figure 3- Population fluctuations of natural enemies at 2015



شکل ۴- تغییرات جمعیت دشمنان طبیعی در سال ۱۳۹۵

Figure 4- Population fluctuations of natural enemies at 2016

طبیعی و جمعیت پوره‌ها حاکی از رابطه‌ی مستقیم جمعیت پوره‌ها با جمعیت دشمنان طبیعی است. به طوری که افزایش جمعیت دشمنان طبیعی کاهش جمعیت پوره را به همراه داشت و کاهش جمعیت دشمن طبیعی منجر به بالا رفتن جمعیت آفت شد. رابطه‌ی معنی‌دار بین جمعیت سن‌های شکارگر *Anthocoris nemoralis* (F.) و *A. minki* Dohrn (Hem.: Anthocoridae) با پسیل معمولی پسته در باغات پسته گزارش شده است (۲۴ و ۲۸).

بر اساس نتایج رگرسیون خطی چند متغیره مقدار ضریب تبیین بر اساس ورودی‌های مورد نظر برای جمعیت پوره برابر 0.22 و برای حشرات کامل برابر 0.32 به دست آمد (جدول ۳). بر این اساس می‌توان استنباط کرد متغیرهای مستقل انتخابی می‌توانند به ترتیب 22% و 32% از تغییرات تراکم جمعیت پوره و حشره کامل پسیل معمولی پسته را توجیه نمایند.

یکی از دلایل احتمالی پایین بودن نرخ پارازیتسیم در اوایل بهار عدم موفقیت زنبورهای پسیلوفագوس در زمستان‌گذرانی ذکر شده است. این زنبور زمستان را به صورت سفیره در داخل پسیل‌های مومیایی شده‌ی چسبیده به برگ درختان پسته سپری می‌کند. در پاییز، برگ‌های پسته به همراه مومیایی‌های روی آن توسط باد به اطراف پراکنده می‌شوند. عملیات کشاورزی زمستانه و چرای دام نیز منجر به ایجاد مرگومیر مستقل از تراکم شود. مرگومیر وابسته به تراکم در اثر حمله‌ی شکارگرها، بیماری‌ها و یا هاپیرپارازیتوئیدها رخ دهد (۱۷).

آستانه‌ی پایین رشد زنبور پارازیتوئید پسیلوفագوس بالاتر از میزان خود یعنی پسیل معمولی پسته است. هرچند این تفاوت حدود یک درجه‌ی سانتی‌گراد است اما باعث تاخیر ظهور آن‌ها در بهار و تامین میزان مناسب و کافی می‌گردد (۱۶).

بررسی نمودارهای مربوط به تغییرات فصلی جمعیت دشمنان

جدول ۳- مقادیر R^2 و RMSE حاصل از آنالیز رگرسیون خطی چندگانه

Table 3- The R^2 and RMSE from multi linear regression

پوره (Nymph)			حشره کامل (Adult)			
RMSE	R^2	P value	متغیرهای ورودی	P value	R^2	RMSE
		0.06	میانگین دما (Average temperature)	0.96		
		0.05	میانگین رطوبت نسبی (Average humidity)	0.74		
48.03	0.22	0.54	میانگین بارندگی (Average rainfall)	0.59	0.32	31.79
		0.26	سرعت باد (Wind speed)	0.08		
		0.135	جهت باد (Wind direct)	0.12		
		0.09	دشمنان طبیعی (Natural enemies)	0.065		

از این تکرار به بعد بین خطای آموزش و اعتبارسنجی مدل واگرایی روی داده است.

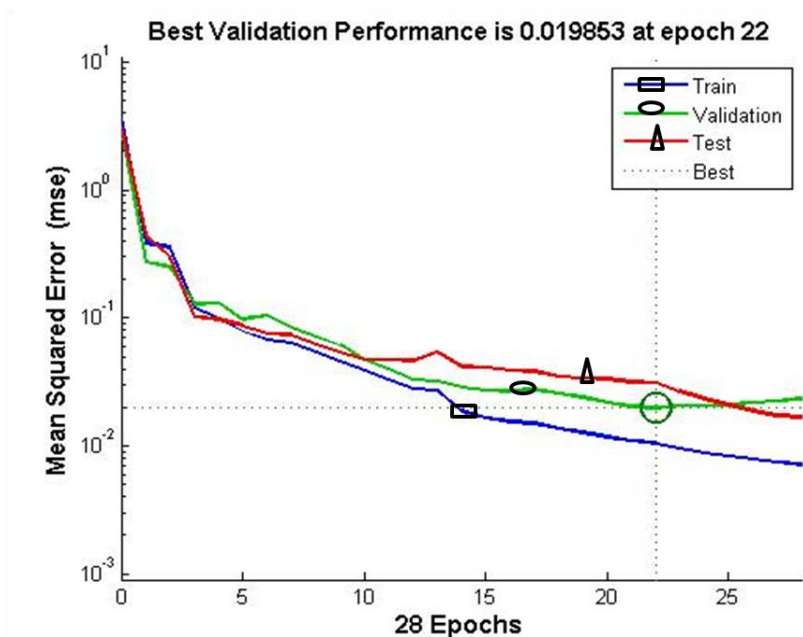
بهترین نتایج براساس ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا وقتی به دست می‌آید که معادله خطی بین جمعیت واقعی آفت و جمعیت پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی، علاوه بر داشتن ضریب تبیین بالا دارای عرض از مبدأ نزدیک به صفر و شیب نزدیک به یک باشند (شکل ۷).

در روش شبکه عصبی-ژنتیک برای حشرات کامل از یک لایه پنهان با ۱۴ نورون و برای پوره‌ها از یک لایه پنهان با ۱۶ نورون و تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید در لایه‌ی پنهان (هم برای حشرات کامل و هم پوره) استفاده شد. در لایه خروجی تابع خطی به کار گرفته شد.

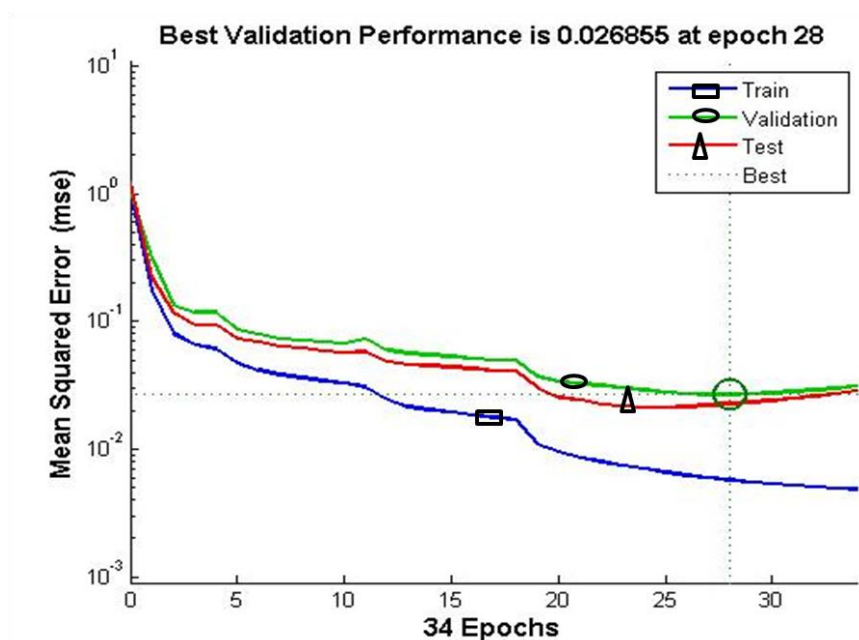
نتایج نهایی مدل‌های شبکه عصبی و عصبی-ژنتیک جهت تخمین جمعیت پسپل معمولی پسته با ورودی‌های میانگین دما، میانگین رطوبت نسبی، میانگین بارندگی، سرعت باد، جهت باد و جمعیت دشمنان طبیعی در جدول ۴ آورده شده است.

جهت تخمین جمعیت حشرات کامل و پوره‌ی پسپل معمولی پسته با روش شبکه عصبی مصنوعی، ۱۵ نورون در لایه اول پنهان و ۹ نورون در لایه دوم پنهان و یک نورون در لایه خروجی به کار گرفته شد. برای لایه‌های پنهان و خروجی به ترتیب از توابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید و خطی استفاده شد.

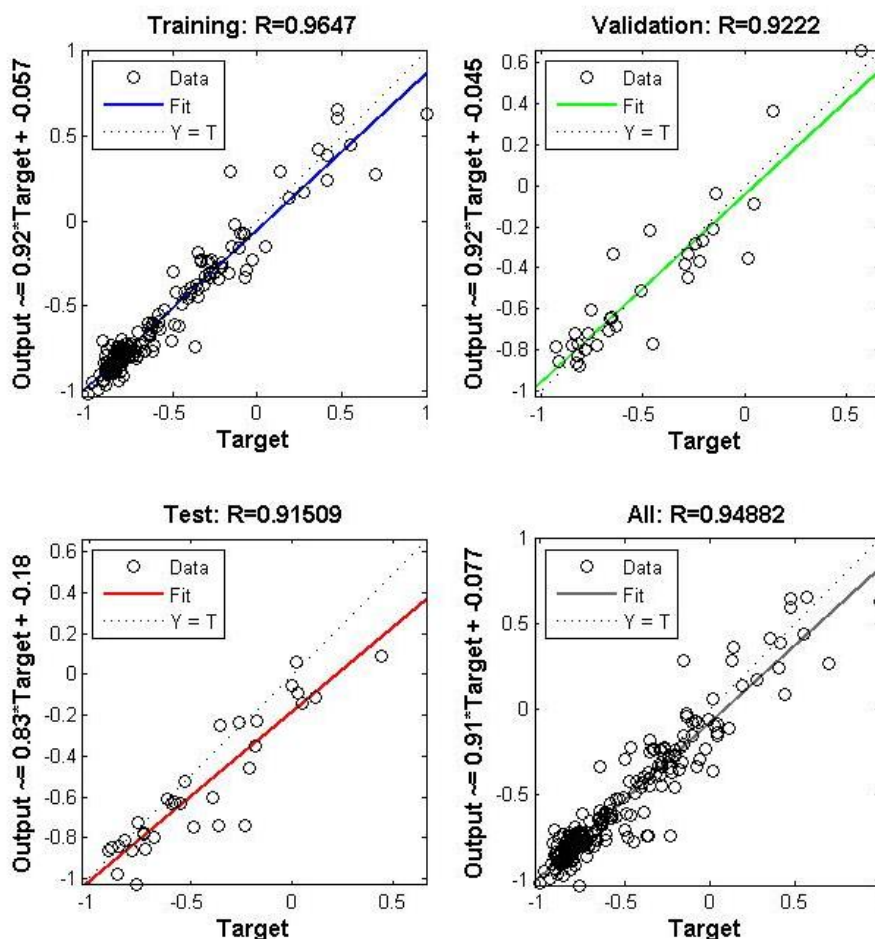
خط بهترین اعتبارسنجی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان دهنده‌ی بهترین مقدار میانگین مربعات خطا برای شبکه‌ی طراحی شده جهت تخمین جمعیت حشره کامل و پوره روی رقم اکبری می‌باشد. زمانی روند آموزش شبکه صحیح بوده که مقدار میانگین مربعات خطای منحنی آموزش کمتر از این مقدار باشد و نیز منحنی‌های مربوط به مقادیر اعتبارسنجی و آزمون نزدیک یکدیگر قرار داشته باشند. بهترین اعتبارسنجی در مورد پوره در تکرار ۲۲ آموزش با میانگین مربعات خطای ۰/۰۱۹۸ و در مورد حشره کامل در تکرار ۲۸ و با میانگین مربعات خطای ۰/۰۲۶۸ حاصل شد. در این تکرار آموزش مدل در این نقطه متوقف شده است، چرا که پس از آن مدل دچار بیش‌آموزی خواهد شد و همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌گردد،



شکل ۵- بهترین عملکرد اعتبارسنجی در مدل پیش‌بینی تراکم جمعیت پوره پسیل معمولی پسته روی رقم اکبری
 Figure 5- Performance validation in prediction of the nymph common pistachio psylla population density



شکل ۶- بهترین عملکرد اعتبارسنجی در مدل پیش‌بینی تراکم جمعیت حشره کامل پسیل معمولی پسته روی رقم اکبری
 Figure 6- Performance validation in prediction of the adult common pistachio psylla population density



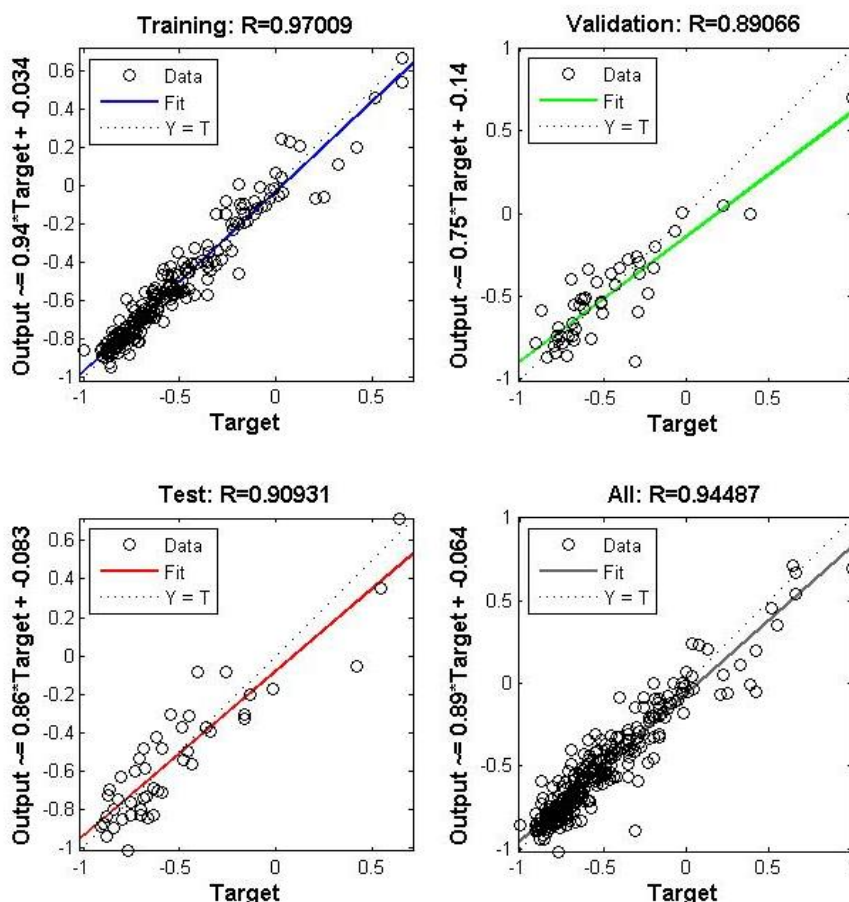
شکل ۷- رابطه‌ی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده جمعیت پوره پسیل معمولی پسته

Figure 7- The relationship between observed and predicted values of the common Pistachio psylla nymph population

جدول ۴- مقادیر ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا برای مدل‌های تخمین جمعیت پسیل معمولی پسته

Table 4- The R² and RMSE values for estimation of *A.Pistciae* population

مدل تخمین جمعیت			R ²	RMSE
پوره (Nymph)	شبکه عصبی (ANN)	Training	0.92	0.122
		Testing	0.84	0.051
	شبکه عصبی-ژنتیک (ANN-GA)	Training	0.88	0.057
		Testing	0.88	0.051
حشره کامل (Adult)	شبکه عصبی (ANN)	Training	0.86	0.171
		Testing	0.61	0.233
	شبکه عصبی-ژنتیک (ANN-GA)	Training	0.77	0.082
		Testing	0.73	0.083



شکل ۸- رابطه‌ی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده جمعیت حشره کامل پسیل معمولی پسته
 Figure 8- The relationship between observed and predicted values of the common Pistachia psylla adult population

متغیرهای وابسته و مستقل، شبکه عصبی مصنوعی با توجه به بررسی غیرخطی بودن داده‌ها می‌تواند به نتایج بهتری نسبت به روش‌های رگرسیونی که تنها به بررسی وجود رابطه خطی می‌پردازند، دست یابد (۲۳).

برای ارزیابی کارایی مدل‌ها می‌توان از شاخص RI استفاده کرد. این آماره نشان‌دهنده‌ی میزان کاهش خطا در مدل‌های مختلف است. براساس شاخص بهبود نسبی، شبکه عصبی - ژنتیک دقت پیش‌بینی را نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی برای جمعیت حشرات کامل به میزان ۵۴٪ و برای پوره‌ی پسیل معمولی پسته به میزان ۵۹٪ افزایش داد.

شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی جمعیت (Diptera: *Thecodiplosis japonensis* (Cecidomyiida)، به کار رفته است. تراکم جمعیت در چهار نمونه‌برداری متوالی به‌عنوان ورودی و تراکم جمعیت در نمونه‌برداری بعدی به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شده است که شبکه عصبی به‌خوبی قادر به پیش‌بینی جمعیت بوده است

مقایسه‌ی شاخص‌های ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطای حاصل از مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، شبکه عصبی و شبکه عصبی-ژنتیک نشان داد که کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا در تمامی مدل‌ها مربوط به مدل عصبی-ژنتیک می‌باشد. مقدار پایین RMSE، پایین بودن خطا و دقت بالای مدل‌های برازش داده شده را نشان می‌دهد.

مقادیر پایین ضریب تبیین مدل رگرسیونی حاکی از این است که این روش نتوانست بخشی از تغییرپذیری تراکم جمعیت پسیل معمولی پسته را به‌وسیله عوامل کمکی به کار گرفته شده توجیه کند که این موضوع به‌دلیل وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها می‌باشد که در مدل رگرسیونی در نظر گرفته نمی‌شود. در مدل‌های رگرسیونی همبستگی ضعیف بین دو متغیر وابسته به هم، همیشه نشان‌دهنده عدم ارتباط این دو متغیر با همدیگر نیست و ممکن است همبستگی غیرخطی بین دو متغیر وجود داشته باشد که به وسیله ضریب همبستگی خطی قابل اندازه‌گیری نیست (۱۲). در صورت وجود رابطه غیرخطی بین

مصنوعی ابزار قدرتمندی در پیش‌بینی تراکم جمعیت شب پره پشت الماسی *Plutella xylostella* ($R^2=0/81$) و پارازیتوئید آن *Diadegma semiclausum* ($R^2=0/85$) بود (۲۵).

فهم پیچیدگی‌های پویایی جمعیت حشرات مستلزم توجه به هر دو عوامل زنده و غیرزنده است. افزایش آگاهی در ارتباط با روابط بین عوامل داخلی و خارجی منجر به تسهیل پیش‌بینی جمعیت و به‌دنبال آن مدیریت بهتر جمعیت آفت می‌شود. انواع مختلف شبکه‌های هوشمند به دلایلی از جمله در نظر گرفتن روابط غیر خطی بین پدیده‌ها و حساسیت کمتر نسبت به وجود خطا در داده‌های ورودی دارای قابلیت اعتماد بالایی جهت مدل‌سازی تغییرات جمعیت هستند. در واقع شبکه‌های عصبی مصنوعی از نوع ویژه‌ای از معادلات استفاده نمی‌کند بلکه با ایجاد رابطه‌ی مناسب بین داده‌های ورودی و خروجی می‌تواند به نتایج رضایت‌بخشی دست یابد. در این تحقیق گرچه روش‌های هوش مصنوعی توانستند بیش از ۸۰ درصد تغییر پذیری ویژگی مورد بررسی را نشان دهند ولی در نهایت این روش از تبیین حدود ۲۰ درصد از تغییرپذیری متغیر عاجز بود که این مسأله می‌تواند به دلیل در نظر نگرفتن پارامترهای دیگری باشد که احتمالاً بر جمعیت آفت تأثیرگذار بوده‌اند و در این تحقیق در نظر گرفته نشده‌اند.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله‌ی دکترای نگارنده‌ی اول می‌باشد که با حمایت‌های مالی دانشگاه رازی انجام شده است و به‌این وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

($t > 90$) (۳). استفاده از شبکه عصبی در آنالیز داده‌های بوم‌شناختی و تعیین غنای گونه‌ای چهار راسته‌ی مهم حشرات آبی (Coleoptera, Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera) نشان داده است که شبکه عصبی مصنوعی به‌صورت موفقیت‌آمیز قادر به تفکیک محل‌های نمونه‌برداری بر اساس غنای گونه‌ای و تعیین رابطه‌ی آن با متغیرهای محیطی بوده است ($r = 0/91$) در مرحله آموزش و $r = 0/61$ در مرحله آزمون (۲۱). استفاده از دو روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی در پیش‌بینی جمعیت شته *Rhopalosiphum padi* نشان از برتری روش شبکه عصبی ($ABMSE = 86$ و $R^2 = 0/82$) نسبت به رگرسیون خطی ($ABMSE = 220$ و $R^2 = 0/75$) بوده است (۱۴). شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای تعیین اثر متغیرهای آب‌وهوایی (میانگین دما، حداکثر دما، حداقل دما، بارندگی، رطوبت نسبی و تبخیر) طی هشت سال روی جمعیت *Scirpophaga incertulas* و سپس ساخت مدل پیش‌بینی‌کننده به‌کار رفته است. مدل به‌دست آمده به‌طور موفقیت‌آمیز قادر به پیش‌بینی جمعیت آفت بوده و نتایج حاکی از وجود رابطه‌ی غیرخطی بین جمعیت حشره و عوامل آب‌وهوایی بوده است (۲۹). در پیش‌بینی زنده‌مانی حشرات کامل *Chrysomya megacephala* هر سه مدل شبکه عصبی (انفیس، پرسپترون چند لایه و تابع پایه شعاعی) دارای ضریب تبیین بالا (به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۹۷) نسبت به مدل رگرسیون خطی با ضریب تبیین ۰/۴۶ بودند که این نشان‌دهنده‌ی دقت بالا و عملکرد بهتر این مدل‌ها نسبت به روش رگرسیون خطی می‌باشد. با مقایسه‌ی مقادیر R^2 در میان سه مدل شبکه عصبی، انفیس بالاترین دقت و عملکرد بهتری را داشت (۲). شبکه عصبی

منابع

- 1- Assar M. 2001. Biology of pistachio psylla *Agonoscena pistaciae* (Hom. : Psyllidae) in Dameghan and effect of Releasing *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neu.: Chrysopidae) egg integrated with using sticky yellow traps in reducing psylla populations in different generations. M. Sc. dissertation, Islamic Azad University, Science & Research Branch, Tehran, Iran. (In Persian)
- 2- Bianconi A., Von Zuben C.J., Serapião A.B.S., and Govone, J. 2009. Artificial neural networks: A novel approach to analysing the nutritional ecology of a blowfly species, *Chrysomya megacephala*. Journal of Insect Science 10: 1-18.
- 3- Chon T.S., Park Y.S., Kim J.M., Lee B.Y., Chung Y.J., and Kim Y. 2000. Use of an artificial neural network to predict population dynamics of the forest-pest pine needle gall midge (Diptera: Cecidomyiida), Environmental Entomology 29: 1208-1215.
- 4- Dezianian A., and Sahragard A. 2004. Biology and natural enemies of pistachio psyllid, *Agonoscena pistaciae* in Dameghan region, Journal of Agricultural Science 1(5): 83-92. (In Persian)
- 5- Dustiy Z., Moeini Naghadae N., Zamani A.A., and Naderloo L. 2017. Modeling the population changes of sunn pest with environmental variables using artificial neural network and comparison with the linear regression model in Chadegan County. Iranian Journal of Plant Protection Science 47(2): 307-315. (In Persian with English abstract)
- 6- Food and Agriculture Organization. 2016. FAO statistical databases. From <http://www.faostat.fao.org>.
- 7- Freeman J., and Sakura D. 2005. Neural Networks: Algorithms, Applications, and Programming Techniques, Addison-Wesley, Berlin.

- 8- Han J., Pei J., and Kamber M. 2011. Data mining: concepts and techniques, Elsevier, Waltham, USA, 673p.
- 9- Hassani M.R., Nouri-Ghanbalani Gh., Eizadi H., and Shojaei M. 2010. Population fluctuations of pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Psyllidae), in Rafsanjan region. Iranian Journal of Plant Protection Science 40(2): 93-98. (In Persian)
- 10- Heung B., Chak H., Zhang J., Knudby A., Bulmer C.E., and Schmidt, M.G. 2016. An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping, *Geoderma* 265: 62-77.
- 11- Jalaeian M., and Karimi Malati A. 2013. Comparison of common pistachio psyllid (*Agonoscena pistaciae*) population on main native and non-native pistachio varieties in Khorasan Razavi Province, *Plant Pest Research* 2(4): 45-54. (In Persian with English abstract)
- 12- Karamouz M., and Araghinejad S. 2014. Advanced Hydrology. 3rd edition. Amirkabir University of Technology Press, Tehran. (In Persian)
- 13- Kouchakzadeh M., and Bahmani A. 2006. Assessment of artificial neural networks revenue in reducing required parameters for estimation of reference evapotranspiration. *Journal of Agriculture Science* 11(4): 87-97.
- 14- Lankin-Vega G., Worner S.P., and Teulon D.A.J. 2008. An ensemble model for predicting *Rhopalosiphum padi* abundance. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 129: 308-315.
- 15- Mehrnejad M.R. 2008. Seasonal biology and abundance of *Psyllaephagus pistaciae* (Hymenoptera: Encyrtidae), a biocontrol agent of the common pistachio psylla *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Psylloidea). *Biocontrol Science and Technology* 18: 409-417.
- 16- Mehrnejad M.R. 2010. Potential biological control agents of the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae*, a review. *Entomofauna* 18: 249-272.
- 17- Mehrnejad M.R., and Emami S.Y. 2005. Parasitoids associated with the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* in Iran, *Biological Control* 32: 385-90.
- 18- Menhaj M. 2005. Computational intelligence. Amirkabir University of Technology Press, Tehran. (In Persian)
- 19- Moeini-Naghadeh N. 2007. Ecological approach on insect pest management. Razi University Press, Kermanshah. (In Persian)
- 20- Montgomer D.C., Peck E.A., and Vining, G.G. 2015. Introduction to Linear Regression Analysis, John Wiley & Sons.
- 21- Park Y.S., Cereghino R., Compin A., and Lek S. 2003. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters, *Ecological Modelling* 160: 265-280.
- 22- Samih M.A., Alizadeh A., and Saberi Riseh R. 2005. Pistachio pests and diseases in Iran and their IPM, Organization of Jihad-e-University, Tehran.
- 23- Schaap M.G., Leij F.J., and van Genuchten M.T. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Science of Society of America Journal* 62: 847-855.
- 24- Souliotes C., Markoyiannaki-Printziou D., and Lefkaditis F. 2002. The problems and prospects of integrated control of *Agonoscena pistaciae* Burck. and Laut. (Hom., Sternorrhyncha) in Greece. *Journal of Applied Entomology* 126: 384-388.
- 25- Tonnang H.E.Z., Nedorezov L.V., Owino J.O., Ochanda H., and Lohr B. 2010. Host-parasitoid population density prediction using artificial neural networks: diamondback moth and its natural enemies. *Agricultural and Forest Entomology* 12: 233-242.
- 26- Worner S.P., and Gevrey M. 2006. Modelling global insect pest species assemblages to determine risk of invasion. *Journal of Applied Ecology* 43: 858-867.
- 27- Yang L.N., Peng L., Zhang L.M., Zhang L.L., and Yang S.S. 2009. A prediction model for population occurrence of paddy stem borer (*Scirpophaga incertulas*), based on back propagation artificial neural network and principal components analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 68: 200-206.
- 28- Yanik E., and Unlu L. 2015. Initial study of rearing and release of *Anthocoris minki* Dohrn (Hemiptera: Anthocoridae) for biological control of *Agonoscena pistaciae* Burckhardt and Lauterer (Hemiptera: Psyllidae) in pistachio orchards. *Agriculture & Forestry* 61: 347-358.
- 29- Zhang W., Zhong X.Q., and Liu G.H. 2008. Recognizing spatial distribution patterns of grassland insects: neural network approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 22:207-216.

Population Dynamics of *Agonoscena pistaciae* and Comparison of the Artificial Neural Network and Neural-Genetic Models for Predicting the Pest Population

S. Gholami Moghaddam¹- N. Moeini-Naghadeh^{2*}- L. Naderloo³

Received: 24-04-2019

Accepted: 03-07-2019

Introduction: The common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Aphalaridae), is a key pest of pistachio trees. Nymphs and adults suck sap from leaves resulting in defoliating, falling flower buds, stopping tree growth and finally yield loss. The population dynamics of insects is influenced by several physical and biological factors such as temperature and natural enemies. Identifying the key factor in population dynamics is difficult due to the potential interactions between biological and environmental factors. Non-linear analysis methods such as artificial neural networks (ANNs) are suited to be applied in the ecosystem with non-linear and complex ecological data. These methods have been widely used as a robust information-processing instrument in many research fields, especially in predicting pest occurrence. For example, a neural model is used to predict bionomic variables related to the nutritional dynamics of blowflies.

In the present investigation, the seasonal abundance of *A. pistaciae* in a pistachio orchard was evaluated for two years. This study aimed to assess the performance of ANN in representing nonlinear dynamic data for common pistachio psyllid populations. To this end, back propagation ANN was implemented to evaluate the relationship between the pest occurrence and influential factors.

Materials and Methods: The population density of psyllids was monitored weekly by the yellow sticky trap for the adult and direct counting for the nymph. After collecting the related data, the curves of the seasonal dynamic population of adults and nymphs were drawn. Then, the number of generations and duration activity of psyllid in each generation were determined. Multi-layer perceptron neural network (MLP), genetic algorithm (GA) and multi-linear regression (MLR) were used to determine the relative significance of biotic (natural enemies) and abiotic (weather variables) factors for predicting *A. pistaciae* density. An ANN model was designed by using the inputs (average temperature, average rainfall, average relative humidity, wind speed and direction, and population of natural enemies), hidden layer (the number of neurons in the hidden layers determined by trial and error), and one neuron in the output layer (the occurrence amount for predicting the population). The Levenberg–Marquardt algorithm was used as the learning algorithm. The root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R^2) were statistics, calculated for both the training and testing set for each iteration.

Results and Discussion: The population fluctuations of *A. pistaciae* on Akbari pistachio cultivar during 2015 and 2016 indicated that the psyllid populations in the field had five apparent peaks from late March to October. *Agonoscena pistaciae* in Rafsanjan county had six complete and one incomplete generation in 2007 and 2008 (9). The general population trends were similar over time within two years, but population densities of adults and nymphs were higher in 2016. Statistical comparison of weather variables between two years showed no significant difference.

Several topologies were examined and the best result was obtained with 15 and 9 neurons in the first and second hidden layer for both adult and nymph in MLP method, respectively. In genetic algorithm, a hidden layer with 14 neurons for adult and 16 neurons for nymph was employed. The R^2 values of MLR, MLP and GA methods (at test phase) were 0.32, 0.61, 0.73, respectively and the RMSE values were 31.79, 0.223 and 0.083, respectively for adult. In the prediction of the population density of the nymph by MLR, MLP and GA, the R^2 values were obtained to be 0.22, 0.84, 0.88, respectively, and the RMSE values were 48.03, 0.051 and 0.051, respectively.

Conclusion: The R^2 and RMSE values showed reliable performance of ANN and GA. The ANNs also modeled the numbers of the psyllid with high accuracy. In addition, the higher R^2 and lower RMSE were obtained for MLP and GA methods relative to MLR. It has been reported in the related literature that the ANN

1 and 2- Ph.D Graduate of Entomology and Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah

(*- Corresponding Author Email: moeeny@razi.ac.ir)

۳- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah

consistently outperformed the statistical models. The ANN as a nonlinear predictor exhibited a high accuracy in predicting the richness of aquatic insect species in running waters by a set of four environmental variables (21). Based on the principal components analysis and back propagation artificial neural methods to analyze historical data on the population occurrence of *Scirpophaga incertulas*, the new model could improve the prediction accuracy, compared with other methods (27). It is worth noting that in regression models, the weak correlation between dependent and independent variables does always not imply that these variables are not associated, as they may have a nonlinear correlation.

Keywords: Common pistachio psylla, Genetic algorithm, Multi-layer perceptron neural network, Population dynamic, Weather variables