

ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی در تعیین پراکندگی مکانی کنه‌های خانواده

Ascidae (Acari: Mesostigmata) در سطح شهرستان دامغان استان سمنان

مسعود حکیمی تبار^{۱*}، علیرضا شعبانی‌نژاد^۲، علیرضا صبوری^۳ و محمدحسین شمس^۳

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، ۲- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران و ۳- گروه گیاه‌پزشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: hakimitabar@yahoo.com

چکیده

پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی پراکندگی کنه‌های خانواده Ascidae با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در شهرستان دامغان استان سمنان انجام شد. بدین منظور مختصات طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در ۱۳۷ نقطه به صورت تصادفی، در سطح شهرستان مشخص و به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی تعریف شد. خروجی نیز تعداد اعضای این خانواده در نقاط مذکور بود. در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون سه لایه با الگوریتم پس انتشار خطا، استفاده شد. برای ارزیابی قابلیت شبکه‌های عصبی مورد استفاده در پیش‌بینی پراکندگی از مقایسه آماری پارامترهایی مانند واریانس، توزیع آماری و میانگین بین مقادیر پیش‌بینی شده مکانی توسط شبکه عصبی و مقادیر واقعی آن‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که در فازهای آموزش و آزمایش بین مقادیر ویژگی‌های آماری واریانس، توزیع آماری و میانگین مجموعه داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده مکانی این خانواده توسط شبکه عصبی، تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود نداشت ($p > 0.4$). در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش شبکه عصبی مصنوعی با تلفیق سه عامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، قادر به پیش‌بینی پراکندگی این خانواده با دقت مناسب بود. واژه‌های کلیدی: کنه‌های شکارگر، الگوهای پراکنش، پرسپترون سه لایه، الگوریتم پس انتشار

Evaluation of Artificial Neural Network for determining distribution pattern of ascid family (Acari: Mesostigmata) in Damghan

Masoud Hakimitabar^{1&*}, Alireza Shabaninejad², Alireza Saboori³ & Mohammadhasan Shams³

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, 2- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Razi Kermanshah University, Kermanshah, Iran & 3- Department of Plant Protection, College of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding author E-mail: hakimitabar@yahoo.com

Abstract

In this study, the artificial neural network methods were used to estimate the distribution of ascid family (Acari: Mesostigmata). For this aim, latitude, longitude and elevation from the sea level of 137 points were defined as inputs and output of method was number of species of this family on those points and Perceptron with propagation algorithm was evaluated in artificial neural network method. To evaluate the ability of neural networks used to predict dispersion, statistical comparison of parameters such as variance, statistical distribution and mean of spatial predicted values by neural network and their actual values were used. The results showed that there was no significant difference ($p > 0.4$) in the training and test phases between the values of the statistical characteristics of variance, the statistical distribution and the mean of real and predicted spatial data of this family by the neural network. It can be concluded that the artificial neural network method was able to predict the

dispersion of this family with proper precision by integrating three factors of latitude and longitude and elevation from the sea level.

Key Words: Predatory mites, Distribution patterns, Perceptron, Propagation algorithm

Received: 27 October 2017, Accepted: 16 December 2017

مقدمه

کنه‌های خانواده Ascidae گروه بزرگ و متنوعی هستند که با طیف وسیعی از زیستگاه‌های خاکریزی و نیمه‌آبزی در سرتاسر جهان سازگار شده‌اند. برخی کم و بیش به نواحی ساحلی و لانه‌های مهره‌داران محدود می‌شوند (Krantz & Walter, 2009). بسیاری از کنه‌های این خانواده، شکارگرهایی با زندگی آزادند که در لایه‌های سطحی خاک، روی گیاهان و در فراورده‌های انباری دیده می‌شوند. این کنه‌ها از نماتودهای مختلف و از مراحل مختلف بندپایان کوچک به ویژه کنه‌ها و حشرات آفت انباری تغذیه می‌کنند. به عنوان مثال کنه‌های شکارگر *Blattisocius tarsalis* (Berlese) و *Blattisocius keegani* Fox از نظر کنترل بیولوژیک آفات انباری اهمیت زیاد دارند (Hughes, 1983). تعدادی از گونه‌های این خانواده از مواد گیاهی زنده به عنوان منبع اصلی غذایی استفاده می‌کنند (Krantz & Lindquist, 1979). کنه‌های این خانواده در نواحی معتدله در زیستگاه‌هایی مثل انبارهای مواد غذایی، بسترهای کشت قارچ‌های خوراکی و گلخانه‌ها می‌توانند زندگی کنند اما به ندرت بر روی گیاهان ظاهر می‌شوند. هر چند در جنگل‌های پرباران استرالیا فراوانترین شکارگران یافت شده روی برگ‌های گیاهان هستند (Walter & Lindquist, 1997).

برای تدوین و ترسیم نقشه‌های پراکندگی این خانواده مهم از کنه‌ها، آگاهی از تغییرات جمعیت و پراکندگی آنها ضروری است. اما آنچه رسیدن به این اهداف را محقق می‌سازد افزایش صحت و دقت روش‌های درون‌یابی و تهیه نقشه‌های کاربردی از جمعیت این خانواده است. درون‌یابی مکانی شامل تخمین متغیرهایی مانند پراکندگی خانواده مورد نظر، در نقاط نمونه‌برداری نشده با استفاده از داده‌های به دست آمده از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. به عبارتی یک روش درون‌یابی ایده‌آل قادر است تا با استفاده از اطلاعات مربوط به پراکندگی خانواده در تعداد نقاط محدود نمونه‌برداری شده، تراکم کنه‌های این خانواده را در نقاط نمونه‌برداری نشده به درستی تخمین بزند (Shabaninejad & Tafaghodinia, 2017a). از روش‌های درون‌یابی مورد استفاده در مطالعات حشره‌شناسی روش‌های کریجینگ و شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان نام برد (Shabaninejad et al., 2017a; 2017b).

مطالعات متعددی نشان داده است که شبکه‌های عصبی توانایی بالایی در تشخیص الگوهای توزیع مکانی جمعیت‌های اکولوژیکی دارند (Goel et al., 2003; Irmak et al., 2006). در پژوهشی مدل شبکه عصبی بردار چندی ساز یادگیر توسط ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2008) برای مطالعه توزیع مکانی حشرات در اراضی مرتعی استفاده شد و کارایی مطلوبی نشان داد. در پژوهشی از شبکه عصبی مصنوعی ترکیب شده با الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی الگوی پراکندگی کنه تارتن دو لکه‌ای در مزرعه خیار استفاده شد که نتایج، کارایی بسیار بالای این شبکه را نشان داد (Shabani nejad et al., 2017a; 2017b) و از طرفی شعبانی‌نژاد و تفقدی‌نیا (Shabani nejad & Tafaghodinia, 2017a) نیز به ارزیابی مدل شبکه عصبی بردار چندی ساز یادگیر LVQ₄ در تشخیص پراکندگی شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی پرداختند که نتایج کارایی بالای این روش را در مزرعه گوجه‌فرنگی نشان داد. بنا به بررسی‌های انجام شده، تاکنون پژوهش مستقلی به منظور ارزیابی روش شبکه عصبی مصنوعی در راستای ترسیم نقشه پراکندگی این خانواده، در شهرستان دامغان صورت نگرفته است. به

همین دلیل، تحقیق حاضر با هدف شناخت وضعیت پراکنش این خانواده انجام شد. به نظر می‌رسد که با ترسیم نقشه پراکندگی این خانواده، کانون‌ها و مراکز اصلی را تشخیص و نمونه‌برداری را از حالت تصادفی به هوشمند تغییر داد که با این روند هزینه‌ها و مدت زمان صرف شده برای نمونه برداری کاهش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی

به منظور انجام این پژوهش ۱۳۷ نقطه در شهرستان دامغان انتخاب و نمونه‌برداری شد.

روش نمونه‌برداری

با مرور منابع مشخص شد که جمع‌آوری نمونه از لحاظ زمانی تابع الگوی خاصی نیست و در هر زمان در طول فصل رویش (بهار، تابستان و پاییز) و هفته ای یک بار از خاک و زیستگاه‌های دیگر در مکان‌های مختلف شهرستان دامغان جمع‌آوری صورت گرفت. نمونه‌برداری از فروردین ۱۳۸۵ تا آبان ۱۳۸۶ انجام شد. از باغ‌های میوه شامل پسته، گردو، زردآلو، گیلاس و سیب نمونه‌های خاک از پای درختان از سطح تا عمق ۳۰ سانتیمتری برداشته شد. همچنین گروه زیادی از کنه‌های این خانواده در انبارها و خانه باغ‌ها فعالیت می‌کنند که به همین دلیل انبارهای مختلف شامل انبار نگهداری خوراک دام و طیور، فروشگاه‌های مواد غذایی، حبوبات و آرد و انبارهای خانگی دارای مواد مختلف مانند حبوبات، گندم، برنج و بذر گیاهان مختلف در آن نگهداری می‌شد و خرده‌های نان و آرد موجود در انبار نانویی‌های سطح شهرستان دامغان بررسی شد. همچنین نمونه‌برداری از خاک‌های جمع‌آوری شده از انبارها و خاکروبه منازل انجام شد. کلیه نمونه‌های جمع‌آوری شده در کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفت. پس از نصب اتیکت که شامل اطلاعات جمع‌آوری مربوط به نمونه بود، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد در مرحله بعد با قیف‌های برلیز جداسازی منتقل شد. و برای شفاف کردن نمونه‌ها از مخلوط اسیدلاکتیک و نسبت و سپس برای تهیه اسلایدهای میکروسکوپی از مایع فاور استفاده شد. شناسایی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ فاز کتراسست Olympus BX51 مجهز به لوله ترسیم انجام شد.

پیش‌پردازش داده‌ها

در ابتدا داده‌ها به‌طور تصادفی به دو دسته مجموعه آموزش با ۹۶ عضو (۷۰ درصد کل داده‌ها) و مجموع آزمایش با ۴۱ عضو (۳۰ درصد کل داده‌ها) تقسیم‌بندی شد. البته اگر این تقسیم‌بندی منجر به نتایج مطلوب نشود، می‌توان این مرحله را دوباره تکرار کرد (Zhang & Fuh, 1998). قبل از به‌کارگیری داده‌های خام اولیه در آموزش شبکه، باید داده‌ها در دامنه مناسبی نرمال شوند زیرا الگوریتم یادگیری همراه با داده‌های خام نمی‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد و همچنین به دلیل دامنه تغییرات خروجی تابع فعالیت سیگموئیدی به‌کار گرفته شده در لایه میانی، این امر ضروری به نظر می‌رسد. در غیر این صورت شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد. در نتیجه نتایج مطلوبی هم به‌دست نمی‌آید (Yuxin et al., 2006). زمانی که از تابع فعالیت سیگموئیدی استفاده می‌شود، بهترین دامنه تبدیل داده‌ها بین (۰/۹ و ۰/۱) می‌باشد (Vakil-Baghmisheh and Pavešic, 2003b). برای تبدیل داده‌ها از روش نرمالیزاسیون خطی معادله ۲ استفاده شد:

$$X_n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times (\Gamma_{\max} - \Gamma_{\min}) + \Gamma_{\min} \quad (2)$$

در اینجا X داده خام اولیه، X_n داده نرمال شده، x_{\max} و x_{\min} به ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های اولیه، Γ_{\max} و Γ_{\min} هم به ترتیب حد بالایی و پایینی دامنه تغییرات داده‌های تبدیل شده است.

شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

یک لایه مخفی برای شبکه عصبی انتخاب شد و برای آموزش شبکه از الگوریتم پس انتشار (Back-propagation) استفاده شد. در این الگوریتم خطای خروجی شبکه برآورد و به عقب (به داخل سیستم) انتشار یافته و بر این اساس وزن‌های انتخاب شده در مدل اصلاح می‌شود.

تنظیم پارامترهای شبکه

لایه ورودی شامل چهار نرون است. تعیین توپولوژی بهینه و تعداد نرون‌ها در لایه مخفی شبکه از طریق آزمون سعی و خطا به دست آمد. اگر تعداد نرون‌ها در لایه مخفی کافی نباشد، شبکه قادر به یادگیری خوبی نخواهد شد. ولی در تعداد بسیار زیاد آن هم، مسئله بیش برآزشی (Over-fitting) پیش خواهد آمد که این منجر به تضعیف تعمیم‌پذیری شبکه می‌شود (Wang & Elhag, 2007). این فرآیند برای تعداد نرون‌های لایه مخفی ۴ تا ۱۳ انجام شد. در نهایت بهترین نتیجه در نرون ۹ به دست آمد. همچنین مقدار بهینه تعداد تکرارها برای یادگیری شبکه عصبی در تشخیص پراکنندگی کنه‌های خانواده Ascidae هم ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تست نرمالپته داده‌های مربوط به نمونه‌برداری به کمک نرم‌افزار SPSS 19 و آزمون کولموگروف - اسمیرنوف، بررسی شد و به دلیل عدم نرمال بودن آن‌ها، داده‌ها توسط روش کاکس باکس نرمال شدند. کد کامپیوتری شبکه عصبی و الگوریتم پس‌انتشار خطا در محیط نرم‌افزار Matlab نسخه ۱/۸ تهیه شد. به ترتیب برای مقایسه میانگین، واریانس و توزیع آماری از آزمون F ، t و کولموگروف - اسمیرنوف استفاده شد.

نتایج و بحث

در شبکه عصبی مصنوعی برای اطمینان از یادگیری شبکه عصبی آموزش دیده برای پیش‌بینی الگوی پراکنندگی کنه‌های خانواده Ascidae داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه از نظر آماری با هم مقایسه شدند. در اینجا فرض صفر بر تساوی میانگین، واریانس و توزیع آماری دلالت دارد. هر فرضیه در سطح احتمال ۹۵ درصد به کمک پارامتر p آزمون شد. مقادیر p محاسبه شده برای هر مورد در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بین میانگین، واریانس و توزیع آماری مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد ($p > 0.4$). وجود $p > 0.80$ در مورد توزیع آماری بین مقادیر واقعی تراکم و مقادیر پیش‌بینی شده کنه‌های خانواده Ascidae در سطح شهرستان دامغان قابلیت و دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسات آماری مقادیر واقعی و پیش‌بینی تراکم کنه‌های خانواده Ascidae توسط شبکه عصبی MLP

Table 1. Statistical comparisons between the observed and estimated of ascidae family density by MLP neural network

Utilization phase	Comparisons of means	Comparisons of variance	Comparisons of distribution
Training	0.551	0.761	0.80
Test	0.459	0.557	0.74

ضرایب تبیین، رابطه خطی رگرسیونی و معنی‌داری آن، بین مقادیر واقعی هر نمونه‌برداری در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج بیانگر قدرت تعمیم‌پذیری بیشتر شبکه عصبی در تخمین تراکم کنه‌های خانواده Ascidae در سطح شهرستان دامغان است.

جدول ۲- رابطه خطی رگرسیونی و ضریب تبیین بین av (مقادیر واقعی داده‌ها) و pv (مقادیر پیش‌بینی شده) توسط مدل

Table 2. Linear regression relationship and coefficient of determination between av (actual value) and pv (predicted value by model)

Sampling date	Network utilization phase	Linear regression relationship	p-value	R ²
2006	Training Phase	pv= 0.878 av +0.042	0.02	0.899
	Test Phase	pv= 0.798 av +0.010	0.03	0.801

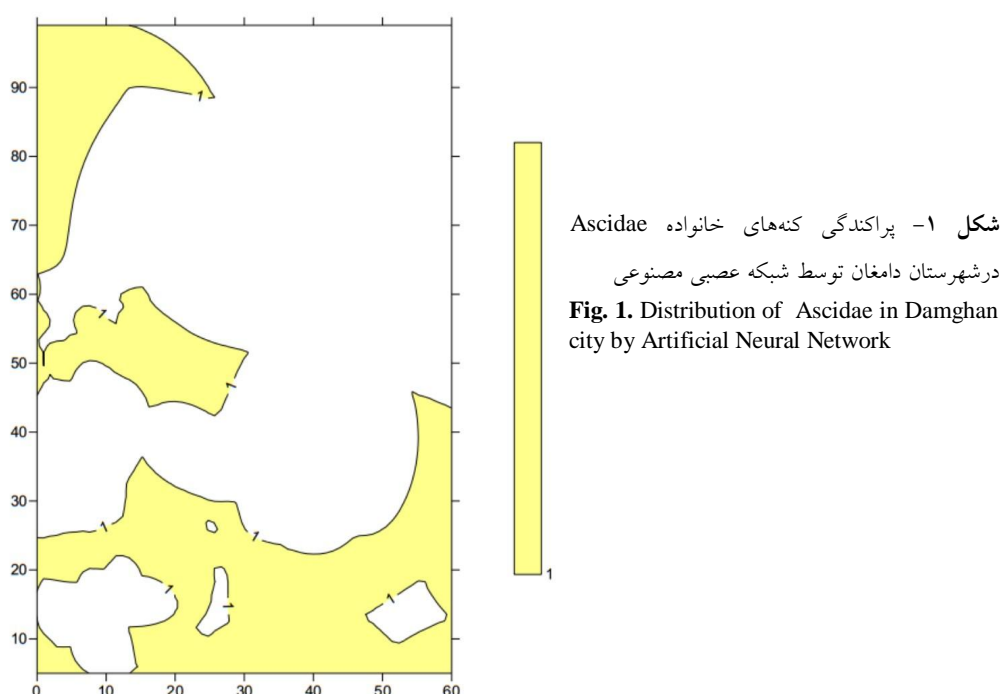
ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2008) در مطالعه‌ای که به منظور تعیین الگوهای پراکندگی حشرات در یک مرتع به وسیله شبکه عصبی MLP، LVQ و خطی انجام دادند، نشان دادند که شبکه عصبی قادر به تشخیص الگوهای توزیع حشرات می‌باشد ولی در بین آن‌ها شبکه MLP قویترین الگوریتم در تشخیص الگوها را داشت. در تحقیق دیگری که برای پیش‌بینی پویایی جمعیت پشه‌های گالزا از خانواده Cecidomyiidae (Diptera) در جنگل‌های سوزنی برگ آمریکا انجام گرفت نیز کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی MLP به اثبات رسید (Young *et al.*, 2000).

شعبانی‌نژاد و همکاران (Shabani nejad *et al.*, 2017a) در مطالعه‌ای به منظور ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری در تعیین پراکنش مکانی کنه تارتن دولکه‌ای مزرعه خیار شهرستان بهبهان قدرت این روش در پیش‌بینی را نشان دادند. همچنین شعبانی‌نژاد و همکاران (Shabani nejad *et al.*, 2017b) به منظور پیش‌بینی الگوی پراکندگی کنه تارتن دولکه‌ای در مزارع خیار رامهرمز از شبکه عصبی مصنوعی ترکیب شده با الگوریتم ژنتیک استفاده کردند، نتایج این مطالعه کارایی بالای این روش در تخمین پراکندگی این کنه‌ها را نشان داد. شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پرسپترون با دقت بالا پراکنش مکانی کنه تارتن دولکه‌ای در مزرعه خیار شهرستان رامهرمز را تعیین کرد (Shabaninejad & Tafaghodinia, 2017b). نتایج تحقیقات بالا با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نقشه پراکندگی کنه‌های خانواده Ascidae

نقشه پراکندگی کنه‌های این خانواده در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به وسعت استان و هدفی که از ترسیم نقشه پراکندگی وجود داشت، اطلاعات جغرافیایی حاصل از نمونه‌برداری به دست آمد که این اطلاعات شامل طول و عرض جغرافیایی است و این مقادیر دارای کمینه و بیشینه‌ای در طول و عرض جغرافیایی

می‌باشند، لذا با توجه به استراتژی کار که رسم نقشه پراکندگی در کل منطقه است می‌بایست برای ترسیم یک نقشه دقیق از منطقه یک مبدا مختصات فرضی در نظر گرفته شود و چون مبدأ مختصات صفر در نظر گرفته شد می‌بایست از صفر تا کمینه طول و عرض جغرافیایی هم میان‌یابی صورت بگیرد و در ادامه این روند تا ماکزیمم مقدار ثبت شده از طول و عرض جغرافیایی ادامه پیدا کند. لذا اعداد روی محور در شکل ۱ درجات جغرافیایی هستند (شایان ذکر است که نقشه‌های توپوگرافیک چون دارای مقیاس می‌باشند هر فاصله بر روی نقشه نشان دهنده یک مسافت خاص است ولیکن نقشه پراکندگی که بر اساس درجه جغرافیایی است فاقد مسافت معنا می‌شود).



در نقشه پراکنش (شکل ۱) قسمت‌های زرد رنگ نشان دهنده الگوهای توزیع کنه‌های این خانواده در سطح شهرستان است. تراکم اصلی این خانواده در جنوب و قسمت‌هایی از جنوب شرق است اما در مرکز شهرستان تراکمی دیده نشده و این روند در قسمت غرب و شمال‌غرب هم دیده می‌شود. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 1998) در قیاس سه مدل شبکه عصبی برای تعیین الگوهای پراکنش حشرات در سطح یک مرتع، بیان کردند که شبکه عصبی پرسپترون چند لایه دارای الگوریتم قویتری در تشخیص الگوی پراکندگی حشرات بود. آنان رفتار بوم شناختی (اکولوژیک) حشرات را در کارایی مدل‌های شبکه عصبی مؤثر دانستند. لذا برای بالابردن دقت یک شبکه عصبی برای تشخیص پراکندگی شمار لایه‌های مخفی، توابع تحریک و حتی مرحله زیستی حشره مؤثر است (Filippi & Jensen, 2006; Zhang *et al.*, 2008).

با توجه به وسعت شهرستان بیشتر مناطق در نقشه عدم وجود این خانواده را نشان می‌دهد و همانگونه که مشخص است پراکندگی آنها به صورت تجمعی در هر محل و در کل به صورت تصادفی است. چون این خانواده دارای پراکنش بالا و دامنه میزبانی وسیع می‌باشد و با توجه به محاسبات و تصویر حاصل از نقشه، پراکنش از نوع تجمعی است و علت تصادفی بودن این پدیده آن است که چون مساحت تحت بررسی زیاد بوده است و نمونه‌برداری هم تصادفی بوده است امکان دارد که در مرحله بعدی نمونه‌برداری از این خانواده نمونه‌ای گزارش نشود که این پدیده کاملاً طبیعی است چون فرآیند جمع‌آوری داده به صورت تصادفی بوده و از نمونه‌برداری سیستمیک استفاده نشده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت این کنه‌ها در مهار زیستی آفات گیاهی، دانستن مکان‌های پراکنش این کنه‌ها به مدیریت تلفیقی آفات خاکزی کمک شایانی می‌کند. نقشه‌های به‌دست آمده از شبکه‌های عصبی مصنوعی اگر دقت بالایی داشته‌باشند می‌توانند به کشاورز جهت اعمال روش‌های کنترل کمک کنند به ویژه اگر نقشه‌ها با مختصات جغرافیایی هر مکان انطباق داشته باشد. باید در جایی که جمعیت کنه‌های شکارگر بیشتر است کمترین نهاد شیمیایی به خاک وارد شود تا شکارگرها آسیب نبینند و کنترل شیمیایی که آخرین مرحله از مدیریت تلفیقی آفات است به زمانی موکول شود که کنه‌ها کمترین آسیب را ببینند.

References

- Goel, P. K., Prasher, S. O., Patel, R. M., Landry, J. A., Bonnell, R. B. & Viau, A. A.** (2003) Classification of hyper spectral data by decision trees and artificial neural networks to identify weed stress and nitrogen status of corn. *Computers and Electronics in Agriculture* 39(12), 67–93.
- Hughes, M. A.** (1983) The mites of stored food and houses. *Technology Bulletin* 9, 314–334.
- Irmak, A., Jones, J. W., Batchelor, W. D., Irmak, S., Boote, K. J. & Paz, J.** (2006) Artificial neural network model as a data analysis tool in precision farming. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 49, 2027–2037.
- Krantz, G. W. & Lindquist, E. E.** (1979) Evolution of phytophagous mites (Acari). *Annual Review of Entomology* 24, 121–158.
- Krantz, G.W. & Walter, D.E. (eds.)** (2009) *A Manual of Acarology*. 3rd ed. 807 pp. Texas Technology University Press.
- Shabaninejad, A. & Tafaghodinia, B.** (2017a) Evaluation of the ability of LVQ4 artificial neural network model to predict the spatial distribution pattern of *Tuta absoluta* in the tomato field in Ramhormoz. *Journal of Entomological Society of Iran* 36, 195–204.
- Shabaninejad, A. & Tafaghodinia, B.** (2017b) Evaluation of the Geostatistical and Artificial Neural Network Methods to estimate the Spatial Distribution of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in Ramhormoz Cucumber fields. *Journal of Applied Entomology and Pathology* 85 (1), 21–29.
- Shabaninejad, A., Tafaghodinia, B. & Zandi-Sohani, N.** (2017a) Evaluation of geostatistical method and hybrid Artificial Neural Network with imperialist competitive algorithm for predicting distribution pattern of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in cucumber field of Behbahan, Iran. *Persian Journal of Acarology* 6 (4), 315–328.
- Shabaninejad, A., Tafaghodinia, B. & Zandi-Sohani, N.** (2017b) Hybrid neural network With genetic algorithms for predicting distribution pattern of *Tetranychus urticae* (Acari.: Tetranychidae) in cucumbers field of Ramhormoz. *Persian Journal of Acarology* 6, 53–62.
- Vakil-Baghmisheh, M.T. & Pavešić, N.** (2003a) Premature clustering phenomenon and new training algorithms for LVQ. *Pattern Recognition*, 36(5), 1901–1921.
- Vakil-Baghmisheh, M.T. & Pavešić, N.** (2003b). A Fast simplified fuzzy ARTMAP network. *Neural Processing Letters* 17, 273–301.

- Walter, D. E. & Lindquist, E. E.** (1997) Australian species of *Lasioseius* (Acari: Ascidae): the porulosus group and other species from rainforest canopies. *Invertebrate Taxonomy* 11(4), 525–547.
- Wang, Y. M. & Elhag, T. M. S.** (2007) A comparison of neural network, evidential reasoning and multiple regression analysis in modeling bridge risks. *Expert Systems with Applications* 32(5), 336–348.
- Young, P., Ja-Myung, K., Buom-Young, L., Yeongjin & Yooshin, K.** (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.
- Yuxin, M., Mulla, D. J. & Pierre, C.R.** (2006) Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks. *Precision Agriculture* 7(2), 117–135.
- Zhang, W. J., Zhong, X. Q. & Liu, G. H.** (2008) Recognizing spatial distribution patterns of grassland insects: neural network approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 22(8), 207–216.
- Zhang, Y. F. & Fuh, J. Y. H.** (1998) A neural network approach for early cost estimation of packaging products. *Computers & Industrial Engineering* 34(4), 433–50.
-