

## مقایسه توانایی پیش‌بینی نوسان‌های جمعیت سن گندم توسط مدل‌های سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS)، روش سطح پاسخ (RSM) و رگرسیون خطی چند متغیره

زهرا دوستی\*، ناصر معینی نقده، عباسعلی زمانی<sup>۱</sup> و لیلا ندرلو<sup>۲</sup>

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، ۲- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۱)

### چکیده

سن معمولی گندم یکی از آفات اصلی گندم و از مهم‌ترین مسائل گیاه‌پزشکی ایران است. از دیرباز مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه برای پیش‌بینی نوسان‌های جمعیت آفات مختلف با استفاده از متغیرهای محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از سیستم‌های هوشمند برای تخمین دقیق‌تر نوسان‌های جمعیت حشرات می‌تواند نتایج بهتری را به همراه داشته باشد. بنابراین مطالعه‌ای با هدف پیش‌بینی نوسان‌های جمعیت سن گندم با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی- تطبیقی، روش سطح پاسخ و رگرسیون خطی چند متغیره انجام شد. این پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در دو مزرعه گندم آبی یک هکتاری در شهرستان چادگان انجام شد. در این مدل‌ها، میانگین دما، میانگین رطوبت نسبی، بارش، سرعت و جهت باد، روز نمونه برداری، روز- درجه و ارتفاع از سطح دریا به عنوان متغیرهای پاسخ استفاده شدند. داده‌های جمع‌آوری شده به صورت تصادفی به دو دسته آموزش (۷۰ درصد) و آزمون (۳۰ درصد) تقسیم شدند و از آن‌ها برای آموزش و ارزیابی مدل‌های انفیس، روش سطح پاسخ و همچنین رگرسیون خطی استفاده شد. دقت پیش‌بینی به وسیله آماره‌های  $R^2$  و RMSE ارزیابی شد. نتایج، کارایی بالاتر مدل انفیس ( $RMSE=0/0614$ ,  $R^2=0/93$ ) و روش سطح پاسخ ( $RMSE=0/0836$ )،  $R^2=0/88$  را نسبت به مدل رگرسیون خطی چند متغیره ( $RMSE=0/23$ ,  $R^2=0/34$ ) نشان داد. همچنین تحلیل حساسیت حاکی از آن بود که میانگین دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و روز نمونه‌برداری پارامترهای موثر بر پیش‌بینی تراکم سن مادر بودند.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌های پیش‌آگاهی، *Eurygaster integriceps*، انفیس، عوامل اقلیمی، چادگان

\* نویسنده مسئول: zahradustiy@gmail.com

## مقدمه

اصفهان نشان داد که تاریخ آغاز ریزش آفت سن گندم به شرایط اقلیمی پیش از ریزش آفت به ویژه در فصل زمستان بستگی دارد (Mozafari and Eghbali Babadi, 2014). بررسی رابطه میزان تراکم سن مادر با دما، طی ۱۲ سال در شهرستان روانسر نشان داد که همبستگی بالا و معنی داری بین مقادیر روزانه دما و تراکم سن مادر بود (Gorgypour Aftahi et al., 2014a). اثر ویژگی‌های دما طی سال‌های ۸۲-۱۳۷۱ در سطح شهرستان بیجار نشان داد که آفت سن گندم از نظر میزان جمعیت به شرایط دمایی وابسته است (Mozaffari and Azizian, 2011). علاوه بر این میزان بارش نیز به عنوان یک متغیر مهم روی جمعیت سن گندم موثر بود، به طوری که در سال‌های پر بارش جمعیت آفت به طور چشمگیری کاهش یافت، اما در سال‌هایی که با کمبود بارش مواجه بود سطح مبارزه با آفت به شدت افزایش یافت و آفت سن گندم در سطح بسیار بالایی خسارت‌زا بوده است (Azizian and Moradi, 2012).

با روش رگرسیون خطی چندگانه<sup>۱</sup> (MLR) می‌توان هم‌زمان به تحلیل و بررسی چندین متغیر مختلف پرداخت، اما ذکر این نکته ضروری است که برای به دست آوردن نتایج مطلوب از طریق MLR، نمونه‌ها باید زیاد و دقیق باشند، بنابراین، این روش حساسیت بالایی دارد و ممکن است منجر به بروز خطا در نتایج به دست آمده شود. علاوه بر این، برای استفاده از این روش، متغیرها باید توزیع نرمال داشته باشند و تغییر آن‌ها از یک رابطه خطی پیروی کند (Balan et al., 1995). روش‌هایی که در سال‌های اخیر به منظور پیش‌بینی پدیده‌ها (به ویژه پدیده‌هایی که عوامل مؤثر بر آن از پیچیدگی زیادی برخوردار می‌باشند) مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل سیستم‌های هوشمند نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم‌های تکاملی و منطق فازی می‌باشند که برگرفته از ساختار ذهنی انسان هستند. سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) را می‌توان

سن گندم با نام علمی *Eurygaster integricep* Put. (Het.: Scutelleridae) مهم‌ترین آفت گندم در ایران محسوب می‌شود که با تغذیه از گندم و جو در مراحل مختلف رویشی موجب کاهش عملکرد و از بین بردن خاصیت نانوائی (خسارت کیفی) می‌شود. آغاز ریزش سن گندم، به دنبال افزایش تدریجی دما، طی چند روز صورت می‌گیرد، بدین معنی که اگر دمای روزانه پس از چندین روز سرد، ناگهان بالا رفته و به حد نصاب لازم برای پرواز برسد، آفت پرواز نمی‌کند، بلکه پرواز زمانی صورت می‌گیرد که حداقل دو تا سه روز قبل از پرواز با افزایش تدریجی دما همراه باشد (Radjabi, 2001). زمانی که دمای محیط از ۱۷ درجه سلسیوس کمتر شود، فعالیت سن گندم در مزرعه متوقف می‌شود (Mozafari and Eghbali Babadi, 2014). مهم‌ترین عوامل موثر بر اکولوژی سن گندم، شامل دو دسته عوامل غیر زنده (شرایط محیطی مانند دما، رطوبت نسبی و بارندگی) و زنده (گیاهان میزبان و دشمنان طبیعی) می‌باشند (Radjabi, 2000). هدف مطالعه اکولوژی حشرات، بررسی نوسان‌های فصلی و پویایی جمعیت حشرات و نیز پی بردن به میزان کارایی عوامل موثر بر تغییرات جمعیت حشرات در مدت یک نسل یا در بین نسل‌های متوالی است (Radjabi, 2007). در نواحی مختلف ایران، سن معمولی گندم می‌تواند حداکثر دمای ۳۰ درجه و حداقل دمای ۲/۵- تا ۳- درجه سلسیوس را تحمل کند (Brown and Eralp, 1962). در زمان ریزش سن به مزارع گندم، میانگین دما طی مدت ۱۲ سال مورد بررسی، بین ۱۳/۶ تا ۱۴/۳ درجه سلسیوس متغیر بوده است (Radjabi, 2001). طی پژوهشی در استان آذربایجان شرقی متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، میانگین وزن سن‌های زمستان گذران، میانگین ماهانه رطوبت نسبی کمینه و میزان بارندگی‌های ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند با مرگ و میر سن گندم رابطه معنی داری داشتند (Karim Zadeh et al., 2012). نتایج بررسی‌های صورت گرفته طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۷۸ در شهرستان

1. Multiple Linear Regression

2. Artificial Neural Network

3 Artificial Neural Network-Based Fuzzy Inference System

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد بررسی

بررسی تغییرات جمعیت سن گندم در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در دو مزرعه آبی گندم رقم پیشگام هر کدام به مساحت یک هکتار یکی در ارتفاع ۲۱۳۵ متر و دیگری در ارتفاع ۲۲۹۰ متر از سطح دریا در شهرستان چادگان انجام شد. نمونه‌برداری از اول فروردین شروع شد و تا زمان برداشت گندم هر دو روز یکبار انجام شد.

### واحد و اندازه نمونه برداری

برای شمارش سن‌های زمستان‌گذران در اوایل دوره‌ی رشدی گندم از کادر چوبی به ابعاد یک متر در یک متر (تخمین مطلق) و با رشد گندم از تور حشره‌گیری (تخمین نسبی) به قطر ۳۷ و با دسته‌ای به طول ۷۶ سانتی‌متر استفاده شد. برای تبدیل تخمین نسبی به مطلق به این صورت عمل شد که با رشد گندم در مزرعه ۲۰ بار کادر انداخته و تعداد سن زمستان‌گذران در هر بار کادر اندازه‌ی یادداشت شد و سپس میانگین آن محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد از تور حشره‌گیری استفاده شد تا مشخص شود که با چند بار تور زدن می‌توان به تعداد سن زمستان‌گذران که در یک متر مربع با استفاده از کادر محاسبه شده بود، دست یافت. به منظور تعیین تعداد مناسب نمونه، ابتدا یک نمونه‌برداری اولیه با تعداد ۳۰ واحد نمونه انجام گرفت. سپس با استفاده از داده‌های به‌دست آمده مقدار خطای نسبی (Relative Variance) تعیین شد. مقدار خطای نسبی از طریق معادله‌ی زیر محاسبه شد:

$$RV = \frac{SE}{X} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله  $\bar{x}$  میانگین داده‌های نمونه‌برداری اولیه و SE خطای استاندارد می‌باشد. مقدار خطای نسبی قابل پذیرش در تعیین الگوی توزیع فضایی ۲۵ درصد در نظر گرفته شد. سپس تعداد نمونه‌ی مورد نیاز با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه شد:

$$N = \left[ \frac{t \times SD}{D \times x} \right]^2 \quad \text{معادله (۲)}$$

ترکیبی از شبکه عصبی و سیستم‌های فازی معرفی کرد که به طور همزمان از الگوریتم یادگیری شبکه عصبی و بیان کیفی منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیر خطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند و امروزه به طور گسترده برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی بسیاری از مسایل مهندسی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Jamali *et al.*, 2009). مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های ریاضی دارای توانایی آموزش روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته هستند (Mittal and Zhang, 2000).

پیش‌بینی انتشار جهانی دو آفت، مگس میوه مدیترانه‌ای *Ceratitis capitata* Wiedemann و پروانه ابریشم‌باف ناجور *Lymantria dispar* L. براساس عوامل اقلیمی و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفته‌است. تحلیل حساسیت نشان داد که میانگین دمای روزانه و نیز تبخیر و تعرق روزانه بیش‌ترین نقش را در انتشار مگس میوه‌ی مدیترانه‌ای *C. capitata* داشته است. در مورد پروانه ابریشم‌باف ناجور مهم‌ترین متغیرهای دخیل در انتشار آن، متوسط دمای کمینه و طول روز بوده است (Worner and Gevrey, 2006). استفاده از سه مدل شبکه عصبی مصنوعی شامل پرسپترون چند لایه، تابع پایه شعاعی<sup>۱</sup> و شبکه عصبی مبتنی بر استنتاج فازی و روش رگرسیون خطی چندگانه برای پیش‌بینی زنده‌مانی حشرات کامل *Chrysomya megacephala* Fabricius انجام شد که نتایج نشان داد از میان سه مدل اشاره شده، مدل ANFIS بهترین توانایی را در پیش‌بینی تعداد افراد زنده مانده داشته است، هر سه مدل نسبت به روش رایج رگرسیون خطی عملکرد بهتری نشان دادند (Bianconi *et al.*, 2009). هدف این مطالعه بررسی پیش‌بینی جمعیت سن مادر با استفاده از مدل‌های انفیس، روش سطح پاسخ و رگرسیون خطی چند متغیره و مقایسه این مدل‌ها به منظور تعیین مناسب‌ترین روش می‌باشد.

<sup>1</sup>. Multi-Layer Perceptron

<sup>2</sup>. Radial Basis Function

آستانه بالا ۲۶/۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (Moeini Naghadeh, 2002).

### مدل‌سازی به کمک سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی ترکیبی از سیستم فازی و شبکه عصبی مصنوعی است، به طوری که مزایای هر دو را در بر دارد (Metin and Mahanta, 2008) and Murat, 2008; Buragohain. این سیستم برای حل مسایل غیر خطی در کاربردهای مهندسی کشاورزی مانند سیستم‌های درگیر با خاک، گیاه و هوا که بسیار پیچیده هستند مفید می‌باشد (Arkhipov et al., 2008; Cheng et al., 2002). ANFIS قادر است به کمک مفاهیم زبانی ارتباط غیر خطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را برقرار و استنتاج نماید (Serge, 2001; Naderloo et al., 2012). در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی، ANFIS به علت تنظیم‌پذیری پارامترهای سیستم فازی، سریع‌تر آموزش می‌بیند و همچنین دقت بیشتری دارد. در این مطالعه از سیستم استنتاج فازی-عصبی سوگنو استفاده شد. سیستم سوگنو در محاسبات عملکرد بهتری دارد و از خروجی قطعی برخوردار می‌باشد. در سیستم سوگنو قسمت مقدم قواعد فازی است، اما قسمت نتیجه غیر فازی و ترکیبی خطی از متغیرهای ورودی است. در ANFIS لازم است در لایه اول نوع تابع عضویت و تعداد آن مشخص شود. در پژوهش حاضر، ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد برای آزمون تقسیم شدند (Sobhani et al., 2014). در این مطالعه از نرم‌افزار MATLAB و پنجره ANFIS استفاده شد.

### مدل‌سازی به روش سطح پاسخ

روش سطح پاسخ<sup>۱</sup> یا به اختصار RSM، مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی است که رابطه‌ی بین یک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیر مستقل (مورد مطالعه) تعیین می‌کند (Witek-Krowiak et al., 2014). برای مدل‌سازی به روش سطح پاسخ از نرم‌افزار Design Experts استفاده

N برابر تعداد نمونه‌ی مورد نیاز، t مقدار جدول t-student بر حسب درجه‌ی آزادی تعداد نمونه، SD انحراف معیار داده‌های نمونه‌برداری اولیه و D میزان خطای قابل قبول (۰/۲۵) می‌باشد (Pedigo and Buntin, 1993).

### داده‌های هواشناسی

متغیرهای آب و هوایی شامل میانگین دما، رطوبت و بارش روزانه و نیز سرعت و جهت باد از ایستگاه هواشناسی چادگان گرفته شد.

### مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره

رگرسیون خطی چند متغیره (MLR) ارتباط بین یک سری از متغیرهای مستقل را با متغیر وابسته بیان می‌کند. در صورت وجود متغیرهای مستقل  $x_1, x_2, \dots, x_n$  به منظور ایجاد ارتباط خطی بین آن‌ها و متغیر  $y$  (که وابسته به آن-هاست)، باید معادله (۳) بین آن‌ها برقرار باشد:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + e \quad (3)$$

که در این رابطه، از مقادیر  $a_1, a_2, \dots, a_n$  با عنوان ضرایب رگرسیون یاد می‌شود و  $e$  خطای بین متغیر اصلی و پیش‌بینی شده را نمایان می‌سازد. این ضرایب، ضرایب نامشخصی هستند که در حقیقت، مسئول برآورد پارامتر وابسته هستند (Richard, 2004).

میانگین دما در روز نمونه‌برداری، میانگین رطوبت نسبی در روز نمونه‌برداری، میانگین بارش، ارتفاع از سطح دریا، سرعت باد، جهت باد، مقدار روز-درجه به عنوان متغیرهای مستقل و تراکم سن مادر به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

### تعیین مدل روز-درجه

داده‌های دمایی شامل کمینه و بیشینه دمای روزانه از ایستگاه هواشناسی شهرستان برای تعیین مدل روز-درجه آفت دریافت شد. محاسبه روز-درجه‌های مورد نیاز برای ظهور و اوج مراحل مختلف زیستی آفت با استفاده از نرم-افزار DEGDAY.xls و روش مورد استفاده در آن Single Sine Method بود. آستانه پایین ۱۲/۲۶ درجه و

1. Sugeno

2. Response Surface Methodology (RSM)

مرحله فراخوانی شد تا در نهایت از بین هفت ورودی عوامل مؤثرتر استخراج شوند.

### ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی و مقایسه‌ی نتایج حاصل از روش‌ها و مدل‌های به کار برده شده در این پژوهش، از شاخص‌های آماری مانند جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. روابط این معیارها به شکل زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(obs-pre)^2}{n}} \quad (۵)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (obs - \overline{obs})(pre - \overline{pre})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (obs - \overline{obs})^2 \sum_{i=1}^n (pre - \overline{pre})^2}} \quad (۶)$$

در روابط فوق، obs مقادیر مشاهده‌ای،  $\overline{obs}$  میانگین مقادیر مشاهده‌ای، 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. هر چه مقدار RMSE به صفر و مقدار  $R^2$  به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی نزدیک‌تر بودن مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده به یکدیگر و دقیق‌تر بودن جواب‌ها در هر مرحله است.

### نتایج و بحث

#### واحد نمونه برداری

نتایج حاصل از مقایسه دو روش نمونه‌برداری مطلق استفاده از کادر یک در یک متر با روش نمونه‌برداری نسبی تور زدن برای نمونه‌برداری از جمعیت سن گندم در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ نشان داد که به صورت میانگین تعداد پنج تور معادل یک متر مربع می‌باشد. لذا پنج تور به عنوان یک واحد نمونه‌برداری انتخاب شد.

#### اندازه نمونه

شد. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد برای آزمون تقسیم شدند. رسم بعضی نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

### نرمال کردن داده‌ها

وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. از این رو داده‌های ورودی به شبکه بایستی نرمال شوند. در این پژوهش برای نرمال کردن داده‌ها از رابطه‌ی (۴) استفاده شده است که ورودی‌ها را بین صفر و یک استاندارد می‌کند (Erahaghi et al., 1993).

$$X_n = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (۴)$$

### تحلیل حساسیت<sup>۱</sup>

مدل‌سازی به کمک مدل‌های شبکه عصبی در دو مرحله انجام گرفت. ابتدا ورودی مدل به فرمت زیر تنظیم شد:

شماره ترتیبی روز سال از اول فروردین (مثلاً ۱۰ اردیبهشت یعنی ۴۱ امین روز سال)، سپس کلیه عوامل محیطی مدنظر در آن روز شامل میانگین دما، رطوبت و بارش روزانه، جهت و سرعت باد، روز-درجه و ارتفاع از سطح دریا بودند. در مرحله دوم با استفاده از تحلیل حساسیت تنها عواملی که تأثیر بیش‌تر و مهم‌تری در مدل داشتند، شناسایی شده و به عنوان ورودی مدل شبکه عصبی به کار رفتند. در هر دو مرحله، نتایج مدل استخراج شد و در نهایت خروجی مدل با خروجی واقعی ارزیابی شد.

تحلیل حساسیت برای نشان دادن واکنش شبکه به تغییرات هر یک از متغیرها به کار می‌رود. بنابراین تأثیر ورودی‌های قوی‌تر دخیل می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهش حاضر، پس از به دست آوردن بهترین شبکه عصبی با استفاده از کل ورودی‌ها (هشت ورودی)، تحلیل حساسیت با محدود کردن هر ورودی در مقدار متوسط آن (به جز یک ورودی که در حال بررسی است)، برای مجموعه داده‌ها انجام شد. سپس مقادیر ورودی در حال بررسی در محدوده صفر تا یک تغییر کرد و شبکه برای هر

<sup>۱</sup>. Sensivity Analysis

جدول ۴ مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در هر سه مرحله آموزش، آزمایش و کل بسیار پایین و نزدیک صفر بوده که این نشان‌دهنده عملکرد بالای مدل است. در شکل ۳ نتایج استفاده از روش سطح پاسخ مرتبه چهارم، برای پیش‌بینی تراکم جمعیت سن مادر با مقادیر مشاهده شده این پارامتر در مرحله آزمون و آزمایش مقایسه شده است. همچنین مقادیر محاسبه شده ضریب تبیین مربوط به پیش‌بینی تراکم جمعیت سن مادر نیز در این شکل‌ها ارائه شده است. در این نمودارها فاصله نقاط مختلف از خط رگرسیون ترسیم شده در این شکل‌ها بیانگر میزان خطای پیش‌بینی است. به طوری که می‌توان گفت که برای نقاطی که به خط رگرسیون نزدیک‌اند، دقت پیش‌بینی بسیار بالا بوده است، به گونه‌ای که ضریب تبیین برای مرحله آموزش و آزمون به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۸۸ به دست آمد.

بر اساس نتیجه‌ی حاصل از اولین نمونه‌برداری، تعداد نمونه مناسب با خطای قابل قبول (۰/۲) برابر ۳۱ واحد تعیین شد. مقدار خطای نسبی (RV) نمونه‌برداری اولیه مقدار ۱۰/۱۷ درصد بود که در محدوده‌ی قابل قبول قرار داشت. پس از تحلیل حساسیت از بین هشت متغیر ورودی، چهار متغیر شامل میانگین دمای روزانه، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و روز نمونه‌برداری برای مدل-سازی مورد استفاده قرار گرفتند. ویژگی‌های بهترین مدل ANFIS مطابق جدول ۱ و خروجی آن مطابق جدول ۲ می‌باشد. از میان سه نوع تابع عضویت فازی مثلثی<sup>۱</sup>، گوسی<sup>۲</sup> و زنگوله‌ای<sup>۳</sup> تابع گوسی از دقت بالایی برخوردار بود. برای آموزش ANFIS از روش بهینه‌سازی هیبرید<sup>۴</sup> که روشی از ترکیب حداقل مربعات و روش کاهش شیب پس انتشار است، استفاده شد. روال آموزش بعد از ۱۰۰ دوره‌ی آموزش<sup>۵</sup> متوقف شد. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای مراحل آموزش، آزمون و کل به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۱ و ۰/۹۳ محاسبه شد. همچنین مقادیر RMSE نزدیک به صفر به دست آمد که حاکی از دقت بالای این مدل است. پس از ایجاد سامانه استنتاج فازی<sup>۶</sup> (FIS)، بر اساس شکل و تعداد توابع، ساختار مدل به صورت شکل ۱ تعیین شد که ساختار ANFIS با لایه‌ی پنج گانه قابل مشاهده می‌باشد. از این ساختار برای پیش‌بینی تراکم جمعیت سن مادر استفاده شد. شکل ۲ ارتباط بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده را در مراحل آموزش و آزمایش برای مدل ANFIS نشان می‌دهد. این ویژگی که داده‌های مشاهده و پیش‌بینی شده در نمودارهای ۲ حول خط همبستگی جمع شده‌اند و پراکنده نبودند، نشان‌دهنده دقت بالای مدل انفیس بود. در روش سطح پاسخ بهترین مدل حاصل از نوع Quartic (درجه ۴) بدست آمد (جدول ۳). بهترین خروجی روش سطح پاسخ در جدول ۴ آمده است. مطابق با

1. Trimf

2. Gaussmf

3. Gbellmf

4. Hybrid

5. Epoch

6. Fuzzy Inference system

جدول ۱- نتایج حاصل از اجرای مدل ANFIS برای نوع و تعداد تابع عضویت برای تخمین جمعیت سن گندم مادر

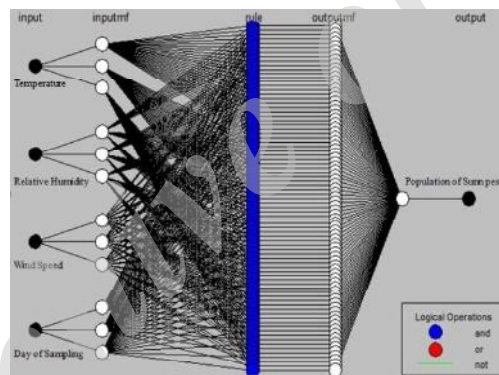
Table 1. Statistical performance of ANFIS for various types and numbers of membership function for estimation of *Eurygaster integriceps* population

Type of model	ANFIS
Number of input	4
Number of membership function	3
Type of membership function for input variable	Gaussmf
Type of membership function for output variable	linear
Optimization method	Hybrid
repeat	100

جدول ۲- خروجی بهترین مدل ANFIS برای تخمین جمعیت سن گندم مادر

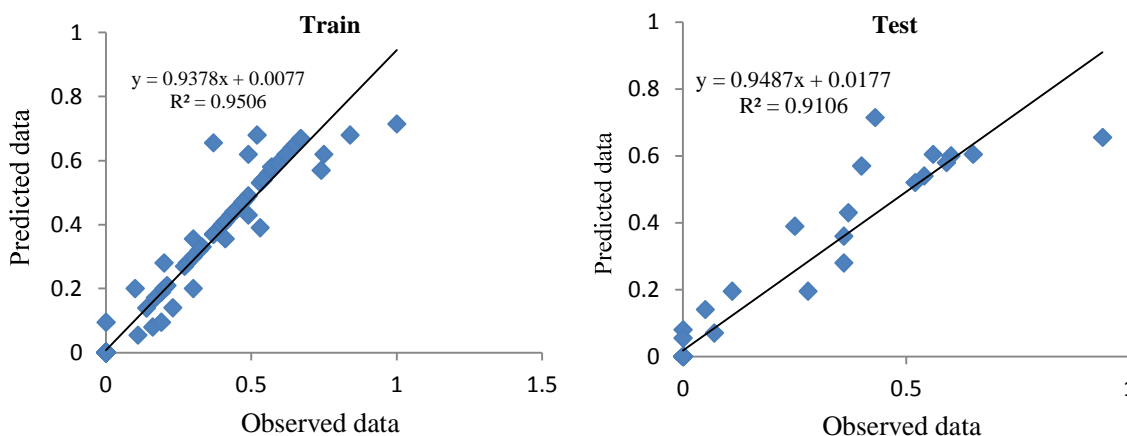
Table 2. Output of the best ANFIS model for estimation of *Eurygaster integriceps* population

	RMSE	SSE	R <sup>2</sup>	p
Training	0.0561	0.367	0.950	$5.61 \times 10^{-77}$
Testing	0.0724	0.257	0.910	$2.74 \times 10^{-26}$
Total	0.0614	0.624	0.938	$1.8 \times 10^{-101}$



شکل ۱- ساختار انفیس بر اساس ساختار اولیه FIS تعیین شده برای تخمین جمعیت سن گندم مادر

Table 1. The structure of the ANFIS based on the initial FIS structure for estimation of *Eurygaster integriceps* population



شکل ۲- ارتباط بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده جمعیت سن گندم مادر به وسیله مدل انفیس در مرحله آموزش و آزمون

Figure 2. Relationship between the predicted and observed data of *Eurygaster integriceps* population by the ANFIS model at the training and testing stage

کمینه مطلق بهار، بیشینه مطلق تابستان و دمای کمینه مطلق پاییز ارتباط مستقیم و بارندگی ارتباط معکوس با جمعیت سن داشتند (Karimzadeh et al., 2012). این نتایج بر خلاف یافته‌های خانیزاد بود که نشان داد افزایش یا کاهش درجه حرارت ماه‌های بهار اثری بر جمعیت آفت نداشت (Khanizad, 2003). در پیش‌بینی دمای بدن و فعالیت بالغین *Polyommatus icarus* Rottemburg تحت عوامل آب و هوایی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نتایج نشان داد که این مدل‌ها می‌توانند فعالیت‌های این حشرات را با تغییر عوامل آب و هوایی به خوبی پیش‌بینی کنند (Howe et al., 2007).

در پیش‌بینی زنده ماندن حشرات کامل *Ch. megacephala* مدل انفیس دارای ضریب تبیین ۰/۹۵ و مدل رگرسیون خطی با ضریب تبیین ۰/۴۶ بودند که این نشان دهنده دقت بالا و عملکرد بهتر مدل انفیس نسبت به روش رگرسیون خطی بود (Bianconi et al., 2010).

نتایج نهایی رگرسیون خطی چند متغیره نشان داد که مقدار ضریب تبیین برای متغیرهای مذکور ۰/۳۴ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۲۳ به دست آمد (جدول ۵). از میان چهار ورودی منتخب، میانگین دما و روز نمونه-برداری همبستگی مثبت و میانگین رطوبت نسبی و سرعت باد همبستگی منفی و معنی دار با نوسان‌های جمعیت سن مادر نشان دادند.

در پژوهشی دیگر تحلیل همبستگی بین رطوبت با میزان تراکم سن گندم در مزرعه، همبستگی منفی در عین حال معنادار را نشان داد (Gorgipour Aftahi et al., 2013). طی بررسی تغییرات جمعیت سن گندم با متغیرهای محیطی از بین هشت متغیر مورد مطالعه (دمای کمینه مطلق فصل بهار، ارتفاع برف باریده شده در فصل بهار، عرض از مبدأ، دمای بیشینه مطلق ماهانه تابستان، میزان بارندگی پاییز، دمای کمینه مطلق پاییز، میزان بارندگی زمستان، تعداد روزهای یخبندان) در سطح احتمال ۰/۱۵، فقط عرض از مبدأ با تراکم جمعیت سن گندم رابطه معنی دار نشان نداد. دماهای



جدول ۳- معادلات درجه چهار به دست آمده توسط روش سطح پاسخ (RSM) برای تخمین جمعیت سن زمستان گذران

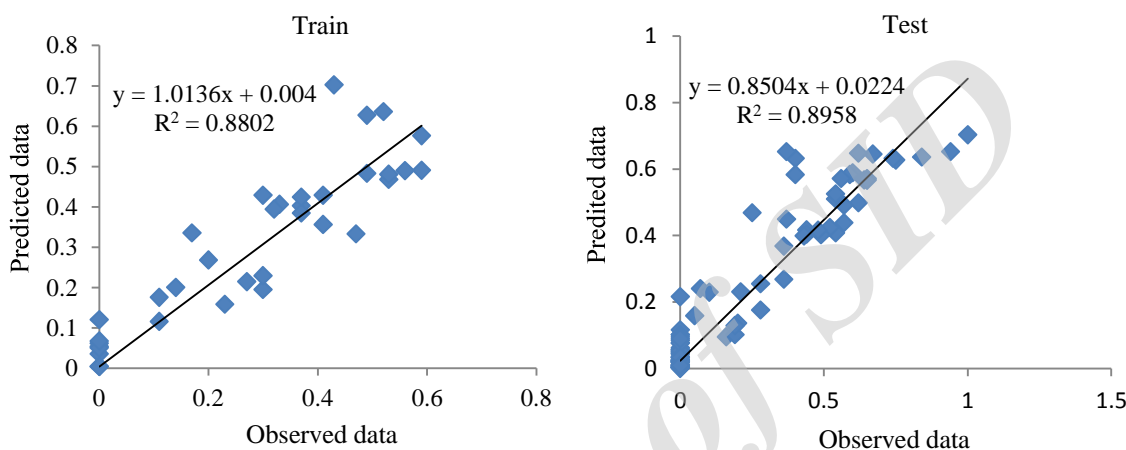
Table 3. Quadratic equations obtained by response surface methodology (RSM) for estimation of *Eurygaster integriceps* population

Coefficient	Variable	Coefficient	Variable	Coefficient	Variable
+23.86		+513.98	*Relative *Humidity <sup>2</sup> *Day Number	-63.63	*Relative Humidity *Wind Speed <sup>2</sup> *Day Number
-175.86	*Temp-Ave	+0.40	*Relative *Humidity *Wind Speed <sup>2</sup>	+230.11	*Relative Humidity *Wind Speed <sup>2</sup> *Day Number
-120.19	*Relative Humidity	-53.25	*Relative *Humidity *Day Number <sup>2</sup>	+101.46	*Wind Speed <sup>2</sup> *Day Number <sup>2</sup>
+7.56	*Wind Speed	+1.68	*Wind Speed <sup>2</sup> *Day Number	+432.52	*Temp-Ave * Wind Speed *Day Number
+116.01	*Day Number	-242.10	*Wind Speed *Day Number <sup>2</sup>	+76.68	*Relative Humidity <sup>2</sup> *Wind Speed <sup>2</sup>
+651.45	*Temp-Ave * Relative Humidity	-286.31	*Temp-Ave <sup>3</sup>	-20.27	*Relative Humidity <sup>2</sup> *Wind Speed *Day Number
+57.51	*Temp-Ave * Wind Speed	-212.02	*Relative Humidity <sup>3</sup>	79.68	*Relative Humidity <sup>2</sup> *Day Number <sup>2</sup>
-347.15	*Temp-Ave * Day Number	+22.85	*Wind Speed <sup>3</sup>	-63.63	*Relative Humidity *Wind Speed <sup>2</sup> *Day Number
-18.65	*Relative Humidity * Wind Speed	+8.84	*Day Number <sup>3</sup>	+230.11	*Relative Humidity *Wind Speed *Day Number <sup>2</sup>
-442.67	*Relative Humidity * Day Number	-619.02	*Temp-Ave *Relative Humidity *Wind Speed *Day Number	+101.46	*Wind Speed <sup>2</sup> *Day Number <sup>2</sup>
-70.89	*Wind Speed * Day Number	+301.77	*Temp-Ave <sup>2</sup> * Relative Humidity <sup>2</sup>	+346.08	*Temp-Ave <sup>3</sup> *Relative Humidity*
+332.69	*Temp-Ave <sup>2</sup>	+416.61	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Relative Humidity *Wind Speed	+227.21	*Temp-Ave <sup>3</sup> *Wind Speed
+229.01	*Relative Humidity <sup>2</sup>	-510.58	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Relative Humidity *Day Number	-118.14	*Temp-Ave <sup>3</sup> *Day Number
-31.05	*Wind Speed <sup>2</sup>			+349.25	*Temp-Ave *Relative Humidity <sup>3</sup>
+104.95	*Day Number <sup>2</sup>	+62.59	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Wind Speed <sup>2</sup>	-44.80	*Temp-Ave *Wind Speed <sup>3</sup>
-213.50	*Temp-Ave * Relative Humidity * Wind Speed	-582.23	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Wind Speed *Day Number	+96.25	*Temp-Ave *Day Number <sup>3</sup>
+654.13	*Temp-Ave *Relative Humidity *Day Number	+18.01	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Day Number <sup>2</sup>	-78.45	*Relative Humidity <sup>3</sup> *Wind Speed
+556.99	*Temp-Ave * Wind Speed *Day Number	+4.01	*Temp-Ave *Relative Humidity <sup>2</sup> *Wind Speed	-222.40	*Relative Humidity <sup>3</sup> *Day Number
+175.52	* Relative Humidity *Wind Speed *Day Number	-161.89	*Temp-Ave *Relative Humidity *Wind Speed <sup>2</sup>	-87.36	*Relative Humidity *Wind Speed <sup>3</sup>
-729.11	*Temp-Ave <sup>2</sup> * Relative Humidity	+62.32	*Temp-Ave *Relative Humidity <sup>2</sup> *Day Number	-33.84	*Relative Humidity *Day Number <sup>3</sup>
-288.54	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Wind Speed	+237.20	*Temp-Ave *Relative Humidity *Day Number <sup>2</sup>	+11.94	*Wind Speed <sup>3</sup> *Day Number
+457.51	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Day Number	-186.41	*Temp-Ave <sup>2</sup> *Wind Speed *Day Number	-95.71	*Wind Speed *Day Number <sup>3</sup>
-733.02	*Temp-Ave *Relative Humidity <sup>2</sup>	+432.52	*Temp-Ave *Wind Speed *Day Number <sup>2</sup>	+73.35	*Temp-Ave <sup>4</sup>
+59.28	*Temp-Ave *Wind Speed <sup>2</sup>	+76.68	*Relative Humidity <sup>2</sup> *Wind Speed <sup>2</sup>	+77.47	*Relative Humidity <sup>4</sup>
-275.70	*Temp-Ave *Day Number <sup>2</sup>	-20.27	*Relative Humidity <sup>2</sup> *Wind Speed *Day Number	+31.12	*Wind Speed <sup>4</sup>
+81.03	*Relative Humidity <sup>2</sup> *Wind Speed	-79.68	*Relative Humidity <sup>2</sup> *Day Number <sup>2</sup>	-28.78	*Day Number <sup>4</sup>

جدول ۴- خروجی بهترین مدل RSM برای تخمین جمعیت سن گندم مادر

Table 4. Output of the best RSM model for estimation of *Eurygaster integriceps* population

	RMSE	SSE	R <sup>2</sup>	P <sub>value</sub>
Training	0.0854	0.310	0.895	$2.7 \times 10^{-23}$
Testing	0.0794	0.852	0.880	$2.64 \times 10^{-68}$
Total	0.0836	0.161	0.886	$2.24 \times 10^{-57}$



شکل ۳- ارتباط بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده جمعیت سن گندم مادر به وسیله روش سطح پاسخ در مرحله آموزش و آزمون

Figure 3. Relationship between the predicted and observed data of mother *Eurygaster integriceps* population by the RSM at the training and testing stage

جدول ۵- رابطه رگرسیونی جمعیت سن مادر با متغیرهای محیطی

Table 5. Regression relationship between *Eurygaster integriceps* population and environmental variables

Input	Standardized coefficients	Sig.
Average temperature	0.50	0.022
Average relative humidity	-0.23	0.037
Wind speed	-0.26	0.004
Number of day sampled	0.59	0.04

مدل ANFIS با ضریب تبیین ۰/۹۳ و روش سطح پاسخ با ضریب تبیین ۰/۸۸ نسبت به روش رگرسیون خطی چند متغیره (ضریب تبیین ۰/۳۴) عملکرد بالاتری در پیش‌بینی نوسان‌های جمعیت سن مادر داشتند. به عبارتی پژوهشگر می‌تواند در هر زمان و هر روز سال به راحتی با داشتن اطلاعات قابل دسترس از سازمان هواشناسی و قرار دادن آن‌ها در مدل شبکه عصبی، تراکم جمعیت آفت سن گندم

در چند دهه اخیر پژوهش‌های زیادی برای یافتن روابط معتبر برای پیش‌بینی نوسان‌های جمعیت حشرات صورت گرفته است. این در حالی است که به دلیل گستردگی پارامترهای تاثیرگذار و پیچیدگی روابط بین آن‌ها، اثر توأم همه پارامترها مقدور نمی‌باشد. تمامی مدل‌های برگزیده در این پژوهش، سیستم ANFIS و روش سطح پاسخ، عملکرد مناسبی از خود برای پیش‌بینی جمعیت سن مادر نشان دادند.

بدین وسیله از همکاری دانشکده علوم کشاورزی و همچنین از همکاری صمیمانه جناب آقای دکتر جوادی کیا استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه تشکر و قدردانی می‌شود.

را پیش بینی کند و اقدام لازم را در زمان مناسب برای رسیدن به عملکرد بالاتر انجام دهد.

### سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از رساله‌ی دکتری نگارنده‌ی اول است که با حمایت مالی دانشگاه رازی انجام شده است و

### References

- Arkhipov, M. E., Crueger, M. and Kurtener, D.** 2008. Evaluation of ecological conditions using bioindicators: application of fuzzy modeling. **Lecture Notes in Computer Science** 5072: 491–500.
- Azizian, M. S. and Moradi, B.** 2012. Study and analyzing the effects of rainfall and drought conditions on the outbreak of Sunn pest in Sanandaj city. The first national agricultural conference in difficult environments. Ramhormaz pp. 10. [https://www.civilica.com/Paper-NCAHEC01-NCAHEC01\\_251.html](https://www.civilica.com/Paper-NCAHEC01-NCAHEC01_251.html). (In Farsi)
- Balan, B., Mohaghegh, S. and Ameri, S.** 1995. State- of- Art- in permeability determination from well log data: Part 1- A comparative study, Model development. **Society of Petroleum Enginners** 30978: 17-25.
- Bianconi, A., Von Zuben, C. J., Serapião, A. B. S. and Govone, J.** 2010. Artificial neural networks: A novel approach to analysing the nutritional ecology of a blowfly species, *Chrysomya megacephala*. **Journal of Insect Science** 10: 1-18.
- Brown, E. S. and Eralp, M.** 1962. The distribution of the species of *Eurygaster integriceps* in Middle East countries. **The Journal of Natural History** 5: 63-77.
- Buragohain, M. and Mahanta, C.** 2008. A novel approach for ANFIS modeling based on full factorial design, **Applied Soft Computing** 8: 609–625.
- Cheng, C. B., Cheng, C. J. and Lee, E. S.** 2002. Neuro-fuzzy and genetic algorithm in multiple response optimization, **Computers and Mathematics with Applications** 44: 1503–1514.
- Erahaghi, I., Xuchai, L., Mahnaz, H. and Yusuf, S.** 1993. A robust neural network model for pattern recognition of pressure transient test data. Society petroleum engineering annual technical conference and exhibition, 3–6 October 1993. Houston, Texas.
- Gorgipour Aftahi, M., Sadeghi, A., Nazemi Rafi, G. and Ghobari, H.** 2014. Study of the relationship between density Sunn pest (*Eurygaster integriceps* Put) in field with moisture (rainfall) after complete loss of wintering places. The First national conference on e-agriculture and sustainable natural resources. Tehran. Arvand Mehr institution of higher education. [http://www.civilica.com/Paper-NACONF01-NACONF01\\_1195.html](http://www.civilica.com/Paper-NACONF01-NACONF01_1195.html).
- Howe, P. D., Bryant, S. R. and Shreeve, T. G.** 2007. Predicting body temperature and activity of adult *Polyommatusi carus* using neural network models under current and projected climate scenarios. **Oecologia** 153: 857–869.
- Jamali, A., Nariman-Zadeh, N., Darvizeh, A., Masoumi, A. and Hamrang, S.** 2009. Multi-objective evolutionary optimization of polynomial neural networks for modelling and prediction of explosive cutting process. **Engineering Applications of Artificial Intelligence** 22(4-5): 676-687.
- Karimzadeh, R., Hejazi, M. J., Helali, H., Iranipour, Sh. and Mohammadi, A.** 2012. The relationship between dynamic population *Eurygaster integriceps* with environmental variables in East Azarbaijan province. **Journal of Plant Protection Sciences** 43 (1): 165-177 (In Farsi)
- Metin, E. H. and Murat, H.** 2008. Comparative analysis of an evaporative condenser using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. **International Journal of Refrigeration** 31: 1426–1436.
- Mittal, G. S. and Zhang, J.** 2000. Prediction of temperature and moisture content of frankfurters during thermal processing using neural network. **Journal of Applied Poultry Research** 78(7): 13-24.

- Moeini Naghadeh, N.** 2002. Regional degree- day forecasting model for predicting developmental stages of sunn pest in the field under variable temperature. Ph.D. thesis. Tarbiat Modares University. Tehran 90 pp.
- Mozafari, Gh. and Eghbali Babadi, F.** 2013. Analysis of temperature and rainfall characteristics on the downward of sunn pest in Isfahan province. **Journal of Lecturer in Humanities - Space Planning and Design** 17 (3): 28-44. (In Farsi)
- Mozaffari, Gh. A. and Azizian, M. S.** 2011. A study of outbreak of sunn pest on the basis of temperature characteristics in Kurdistan province (Case study: Bijar city). **Journal of Natural Geography Research** 76: 121-135. (In Farsi)
- Naderloo, L., Alimardani, R., Omid, M. F., Sarmadian, P., Javadikia, H. and Torabi, M. Y.** 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. **Journal of Measurement** 45: 1406-1413. (In Farsi)
- Pedigo, L. P. and Buntin, G. D.** 1993. Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL. 714.
- Radjabi, Gh.** 2000. Ecology of cereals sunn pests in Iran. Agricultural education publication. Tehran. Iran. 343 pp. (In Farsi)
- Radjabi, Gh.** 2001. Investigation on the downward migration of hibernating Sunn pest individuals from the altitudes to the cereal fields in Varamin region. **Journal of Pests and Plant Diseases** 68(1): 107-122. (In Farsi)
- Radjabi, Gh.** 2007. Sunn pest management based on its outbreaks' key factor analysis in Iran. Agricultural Education Publications, Tehran, Iran. 163 pp. (In Farsi)
- Richard, A.** 2004. Regression Analysis: A Constructive Critique. Sage Publications. Thousand Oaks, CA.
- Serge, G.** 2001. Designing fuzzy inference systems from data: Interpretability oriented review. **IEEE Transaction on Fuzzy Systems** 9 (3): 426-442.
- Sobhani, B., Salahi, B and Goldoost, A.** 2014. Study of dust and evaluation of its prediction based on statistical methods and ANFIS model in Zabol station. **Journal of Geography and Development** 13 (38): 123-138. (In Farsi)
- Witek-Krowiak, A., Chojnacka, K., Podstawczyk, D., Dawiec, A. and Pokomeda, K.** 2014. Application of response surface methodology and artificial neural network methods in modelling and optimization of biosorption process. **Bioresource Technology** 160: 150-160.
- Worner, S. P. and Gevrey, M.** 2006. global insect pest species assemblages to determine risk of invasion. **Journal of Applied Ecology** 43: 858-867.

## Comparing the ability of ANFIS, RSM and multiple linear regression models for estimation of *Eurygaster integriceps* population

Z. Dustiy<sup>1\*</sup>, N. Moeini-Naghadeh<sup>1</sup>, A. Ali Zamani<sup>1</sup> and L. Naderloo<sup>2</sup>

1. Department of Plant Protection, College of Agricultural Science, Razi University, Kermanshah, Iran, 2. Department of Biosystem Mechanization Engineering, College of Agricultural Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: July 1, 2018- Accepted: December 2, 2018)

---

### Abstract

The Sunn pest, *Eurygaster integriceps* Put. is one of the main pests of wheat and one of the most important plant protection problems in Iran. Multiple linear regression models have been used to predict the fluctuation of various pest populations by using environmental variables. Using intelligent systems to better estimate insect population fluctuations can lead to better results. Therefore, the current study was conducted to predict population fluctuation of the Sunn pest by using a neuro adaptive fuzzy inference system, a response surface method and multiple linear regression. This study was done during in 2015 and 2016 on two wheat farms each one with an area of one hectare in the Chadegan county. In these models, average temperature, average relative humidity, rainfall, wind speed and direction, sampling date, degree- day and altitude from sea level were used as response variables. The collected data randomly divided in two categories of training (70%) and testing (30%) and they used for train and test of ANFIS and response surface methodology. The accuracy of the prediction was evaluated by  $R^2$  and RMSE. The higher performance of the ANFIS model ( $R^2= 0.93$ , RMSE= 0.0614) and RSM ( $R^2 = 0.88$ , RMSE= 0.0836) resulted comparing to the multiple linear regression ( $R^2 = 0.23$ , RMSE= 0.34). Also the results of sensitivity analysis indicated that the average of temperature, relative humidity, wind speed and date of sampling were the most important parameters for predicting density of adult Sunn pest.

**Key words:** Predictable models, *Eurygaster integriceps*, Anfis, Environmental factors, Chadegan.

---

\*Corresponding author: zahradustiy@gmail.com