



## پراکندگی جغرافیایی و عوامل زیست محیطی مؤثر در پیش‌بینی پراکنش *Heliothis peltigera* (Lep.: Noctuidae) در ایران

حسین فلسفی<sup>۱</sup>، هلن عالی‌پناه<sup>۲\*</sup>، هادی استوان<sup>۱</sup>، شهرام حسامی<sup>۱</sup>، رضا ظهیری<sup>۳</sup>

(۱) گروه حشره‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

(۲) بخش تحقیقات رده‌بندی حشرات، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(۳) دپارتمان علوم طبیعی، بخش حشره‌شناسی، موزه تاریخ طبیعی کارلسروهه، کارلسروهه، آلمان

(\* halipanah@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲

### چکیده

کرم قوزه گلرنگ، *Heliothis peltigera* (Denis & Schiffermüller)، یکی از آفات کشاورزی شناخته شده در دنیا و ایران است که به برخی از گیاهان مهم اقتصادی خسارت وارد می‌کند. در این تحقیق به کمک نرم‌افزارهای MaxEnt، R، و ArcGIS، مناطق مناسب برای انتشار بالقوه این آفت در ایران بر مبنای متغیرهای اقلیمی و داده‌های مربوط به حضور گونه پیش‌بینی و مهم‌ترین عوامل اقلیمی تأثیرگذار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که دو استان گیلان و مازندران، بیشتر نواحی استان بوشهر، جنوب استان هرمزگان و غرب استانهای آذربایجان غربی، کردستان و کرمانشاه مناسب‌ترین شرایط را برای استقرار این گونه دارند. علاوه بر این، عواملی چون بارش در مرطوب‌ترین سه ماه سال (bio16)، سرعت متوسط باد در شهریور ماه (wind8) و اردیبهشت ماه (wind5)، و نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه (bio3)، بیشترین تأثیر را در انتشار گونه‌ها دارند. بدیهی است، پیش‌بینی توزیع این آفت در مناطقی که میزبان‌های اصلی آن در آنجا سطح کشت بالایی دارند، می‌تواند در توسعه استراتژی‌های کنترلی آفت حایز اهمیت باشد.

واژه‌های کلیدی: انتشار، متغیرهای زیست محیطی، MaxEnt، مدل‌های توزیع گونه‌ها، Noctuidae.

### مقدمه

برخی از گونه‌های بال‌پولک‌داران متعلق به خانواده Noctuidae، جزو آفات مهم کشاورزی محسوب می‌شوند. کرم قوزه گلرنگ، *Heliothis peltigera* (Denis & Schiffermüller, 1775)، گونه‌ای از خانواده Noctuidae و زیرخانواده Heliothinae است که لارو آن به شدت پلی‌فاژ است و ترجیح می‌زبانی آن گیاهان تیره‌های کاسنیان (Asteraceae)، نعنائیان (Lamiaceae)، پنیرکیان (Malvaceae) و بادنجانیان (Solanaceae) هستند. لارو این شب‌پره آفت گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای، تنباکو، سویا، نخود، بادام‌زمینی، یونجه، آفتاب‌گردان، گاوچشم یا گل حشره‌کش، پنبه، گلرنگ، کرچک، نعنا و ذرت (Fibiger et al., 2009) است و در جمعیت‌های بالا به لوبیا، گیاهان زینتی، پونه کوهی، تاتوره و پائولونیا خسارت می‌زند (Ayten et al., 2020). البته بنا به عقیده (Fibiger et al., 2009)، برخی از این میزبان‌ها ممکن است به دلیل اشتباه در شناسایی گونه معرفی شده باشند. این گونه از ناحیه غرب مرکز پالئارکتیک تا غرب چین، قسمت‌هایی از آفریقا، اروپا (در قسمت شمالی به صورت مهاجر)، خاورمیانه (شامل ایران، عراق، سوریه، فلسطین اشغالی،

پاکستان، ترکیه، قفقاز، ماورای قفقاز، آسیای مرکزی، قزاقستان، چین (شامل تبت)، هندوستان، هندوچین مرکزی، نپال، جنوب شرقی آسیا، کانادا، ایالات متحده آمریکا و نیوزلند انتشار دارد (Manjunath et al. 1976؛ Weigand and Iqbal and Mohyuddin 1990؛ Tahhan 1990؛ Matov et al., 2008؛ Fibiger et al., 2009؛ de Jong and Döring, 2016؛ Ragonieri et al., 2017؛ Ayten et al., 2020). در سواحل مدیترانه، خاورمیانه و خاور نزدیک، گونه‌ای مهاجر است (Matov et al., 2008) و اخیراً در اروپا به یک آفت بالقوه مهم تبدیل شده است (Ragonieri et al., 2017). *Heliothis peltigera* اولین بار در سال ۱۳۶۸ توسط پروین از استان تهران به‌عنوان آفت گلرنگ معرفی شد (Parvin, 1990). (Nematollahi and Bagheri (1997) و Saeidi et al., 2011 نیز این آفت را به‌ترتیب در مزارع گلرنگ اصفهان و یاسوج، جمع‌آوری کردند. این آفت تاکنون از بسیاری از استان‌های کشور گزارش شده است (Matov et al., 2008). تغییرات آب و هوایی روی فیزیولوژی، پراکنش، فنولوژی و سازگاری جانوران از جمله حشرات که حشرات آفت جزو آن‌ها هستند، تأثیر می‌گذارد (Epstein, 1998؛ Parmesan, 1999؛ Hughes, 2000). تحت تأثیر عوامل زیست‌محیطی بهینه، نیچ‌های اکولوژیک جدید برای حشرات تشکیل می‌شوند و به آن‌ها اجازه می‌دهند تا محدوده جغرافیایی خود را گسترش داده و وارد مناطق جدید شوند (Epstein, 1998؛ Parmesan, 1999؛ Skendžić et al., 2021). پیش‌بینی پراکنش بالقوه حشرات در شرایط آب و هوایی فعلی و آینده به‌کمک مدل‌های زیست‌اقليمی مختلفی مانند مدل توزیع گونه‌ها (SDMs) (species distribution models) انجام می‌گیرد (Acevedo et al., 2010؛ Aragón and Lobo, 2012؛ Peterson and Soberon, 2012). در این مدل‌ها نیازهای اکولوژیک گونه‌ها بر اساس متغیرهای زیست‌محیطی مشخص شده و مناسب‌ترین مناطق برای حضور و انتشار گونه‌ها تعیین می‌شوند (Dormann et al., 2013). یکی از این مدل‌های توزیع گونه‌ها که به‌کمک نرم‌افزار MaxEnt تهیه می‌شود، مدل حداکثر آنتروپی (Maximum Entropy = MaxEnt) است. مدل MaxEnt از این لحاظ که حتی زمانی که تعداد داده‌های حضور گونه کم است دقت و صحت زیادی در پیش‌بینی مدل پراکنش دارد، برتری خود را نسبت به سایر مدل‌ها نشان داده است (Elith et al., 2006؛ Hernandez et al., 2006, 2008؛ Wang et al., 2007؛ Roura-Pascual et al., 2009؛ Larson et al., 2010؛ De Meyer et al., 2010).

تاکنون تحقیقات جامعی در مورد پراکنش فعلی *H. peltigera* در ایران، الگوی پراکنش گونه و رابطه آن با تغییرات آب و هوایی و عوامل محیطی تأثیرگذار در گسترش این آفت انجام نشده است. همچنین، مطالعه‌ای در دنیا روی مدل‌های پراکنش این آفت صورت نگرفته است. البته تحقیقاتی درباره مدل‌های پراکنش برخی از مهم‌ترین گونه‌های آفت متعلق به زیرخانواده Heliothinae مانند *Helicoverpa armigera* (Hübner, [1808]) و *H. zea* Boddie, 1850 به انجام رسیده‌اند که بیشتر آن‌ها مربوط به گونه اول بوده و در هند (Srivastava et al., 2010)، پاکستان (Wakil et al., 2010؛ Hameed et al., 2015)، چین (Zhu et al., 2011) و آمریکای شمالی (Kriticos et al., 2015) صورت گرفته‌اند. تنها تحقیق انجام شده در مورد مدل‌های پراکنش *H. zea* توسط Zhao et al. (2022) در چین بوده است. در ایران، تحقیقات انجام گرفته در مورد مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌های خانواده Noctuidae تحت تأثیر عوامل زیست‌محیطی توسط Falsafi et al. (2022, 2024) بوده است که در آن به بررسی مدل‌های پیش‌بینی پراکنش چهار گونه آفت متعلق به این خانواده، *Spodoptera exigua* (Hübner, 1808)، *Spodoptera littoralis* (Boisduval, 1833) و *Autographa gamma* (Linnaeus, 1758) و *Agrotis segetum* (Denis & Schiffermüller, 1775) و مشخص نمودن عوامل زیست‌محیطی مؤثر در پراکنش آن‌ها در کشور پرداخته شده است.

در این تحقیق ضمن مشخص نمودن پراکنش فعلی آفت در ایران، به‌کمک نرم‌افزارهای MaxEnt، ArcGIS و R Package، به بررسی و پیش‌بینی پراکنش بالقوه این گونه تحت تأثیر متغیرهای زیست‌محیطی پرداخته شده و متغیرهایی که بیشترین نقش را در انتشار آفت در کشور دارند مشخص می‌شوند. همچنین، بررسی می‌شود که آیا در مناطقی از کشور که نمونه‌ای از این گونه در این تحقیق جمع‌آوری نشده یا موجود نیست و یا گزارش معدودی از این گونه در آنجا به ثبت رسیده است، احتمال حضور و استقرار آفت با استناد

به متغیرهای زیست‌محیطی مورد استفاده وجود دارد یا خیر. علاوه‌براین، مشخص می‌شود که مستعدترین مناطق برای حضور آفت کدامند. بدیهی است پیش‌بینی مناطق مناسب برای انتشار آفت در کشور می‌تواند کمک مؤثری در تدوین برنامه‌های مدیریتی کشاورزی داشته باشد.

## مواد و روش‌ها

### \* داده‌های مربوط به حضور نمونه‌ها

در این تحقیق ابتدا نمونه‌های *H. peltigera* موجود در موزه حشرات هایک میرزایانس مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور که در فاصله زمانی نزدیک به ۸۰ سال از قسمت‌های مختلف ایران جمع‌آوری شده‌اند، تفکیک و شناسایی شده و سپس اطلاعات مربوط به محل‌های جمع‌آوری نمونه‌ها در فایل Excel گردآوری شد. از آنجایی که عوامل زیست‌محیطی برگرفته از پایگاه داده WorldClim مربوط به سال ۱۹۷۰ میلادی به بعد هستند، اطلاعات نمونه‌های جمع‌آوری شده قبل از سال ۱۹۷۰ و نیز داده‌های تکراری حذف شدند و به این ترتیب، تصفیه داده‌ها انجام گرفت. در مورد داده‌هایی که دارای اطلاعات مکانی بودند، اما مختصات جغرافیایی آن‌ها مشخص نبود، این مختصات به کمک تارنماهای Google Earth (Gorelick et al., 2020) و Mapcarta (<https://mapcarta.com>) استخراج شدند. ناهمگونی (imbalance) داده‌ها و همبستگی فضایی (spatial autocorrelation) ناشی از sampling bias، به کمک تابع gridSample از بسته «dismo» نرم‌افزار R حذف و داده‌های مربوط به حضور نمونه‌ها sub-sample شدند (Kadmon et al., 2004; Hijmans et al., 2005; Fan et al., 2020). در مجموع اطلاعات مربوط به ۳۵۳ نمونه که شامل ۱۷۳ رکورد حضور نمونه بودند ثبت شد و سپس نقشه محل‌های جمع‌آوری نمونه‌های متعلق به *H. peltigera* که تقریباً نشان دهنده پراکنش فعلی گونه در ایران است، به کمک نرم‌افزار ArcGIS (Version 10.5) (ESRI, 2016) تهیه شد.

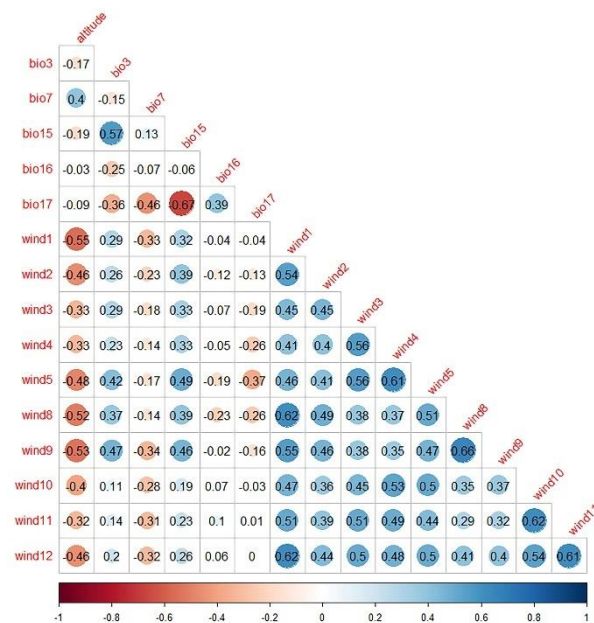
### \* عوامل محیطی

عوامل محیطی از پایگاه داده‌های WorldClim (<https://www.worldclim.org/>) (Hijmans et al., 2005) گرفته و پیش‌پردازش شدند. این عوامل شامل ۱۹ متغیر زیست‌محیطی، ۱۲ متغیر مربوط به سرعت باد، و یک متغیر ارتفاع با وضوح فضایی ۳۰ ثانیه (حدود ۱ کیلومتر) بودند. برای پیش‌پردازش متغیرها، فاکتورهای با همبستگی بالا حذف شدند. حذف این فاکتورها و تهیه ماتریس ضرایب همبستگی متغیرها، به کمک بسته‌های raster، ggplot2، lattice و caret در نرم‌افزار R انجام گرفت و مطابق شکل ۱ و جدول ۱، در نهایت ۱۶ متغیر با ضریب همبستگی کم‌تر از ۱۰، به عنوان متغیرهای نهایی در نظر گرفته شدند.

### \* مدل‌سازی به کمک MaxENT

پیش‌بینی پراکنش بالقوه *H. peltigera* به کمک نرم‌افزار MaxEnt (version 3.4.1) (Phillips et al., 2006) با آستانه همگرایی  $10^{-5}$  انجام گرفت (Phillips and Dudík, 2008). برای هر گونه ۲۵ درصد داده تصادفی برای آزمایش در نظر گرفته شد (Phillips, 2010) که از این فرایندها ۱۰۰۰ تکرار انتخاب شدند. آزمون bootstrap با regularization multiplier parameter برابر با ۱ و انتخاب مقادیر ۱۰۰۰۰ برای background مورد استفاده قرار گرفت (Phillips, 2010).

برای تعیین میزان دقت (robustness) نتایج به دست آمده در MaxEnt، سطح زیر منحنی (Area Under Curve (AUC)) برای (ROC) Receiver Operating Characteristic محاسبه شد (Peterson et al., 2008). مقادیر عدی AUC بین صفر تا یک است و مدلی مطلوب است که AUC آن به یک نزدیک باشد. مقادیر AUC بزرگ‌تر از ۰/۹ معرف دقت بالا، بین ۰/۷ تا ۰/۹ دقت خوب و بین ۰/۵ تا ۰/۷ نشان دهنده دقت پایین است (Swets, 1988). برای محاسبه AUC از نرم‌افزار MaxEnt استفاده شد (Peterson et al., 2008). علاوه‌براین، آزمون Jackknife برای ارزیابی اهمیت متغیرهای زیست‌محیطی انجام گرفت (García, 2006).



شکل ۱- ضرایب همبستگی متغیرهای زیست محیطی حفظ شده برای مدل سازی MaxEnt. سایه های تیره تر آبی و قرمز به ترتیب نشان دهنده مقادیر همبستگی نسبتا بالای مثبت و منفی هستند، در حالی که سایه های روشن تر آبی و قرمز به ترتیب مقادیر همبستگی پایین مثبت و منفی را نشان می دهند.

Figure 1. Correlation coefficients of the retained environmental variables for MaxEnt modeling. Darker shades of blue and red show relatively high positive and negative correlation values, respectively, while lighter shades of blue and red show low positive and negative correlation values, respectively.

جدول ۱- متغیرهای محیطی تأثیرگذار مورد استفاده در نرم افزار Maxent برای تعیین مدل پراکنش *Heliothis peltigera* درصد مشارکت آن ها.

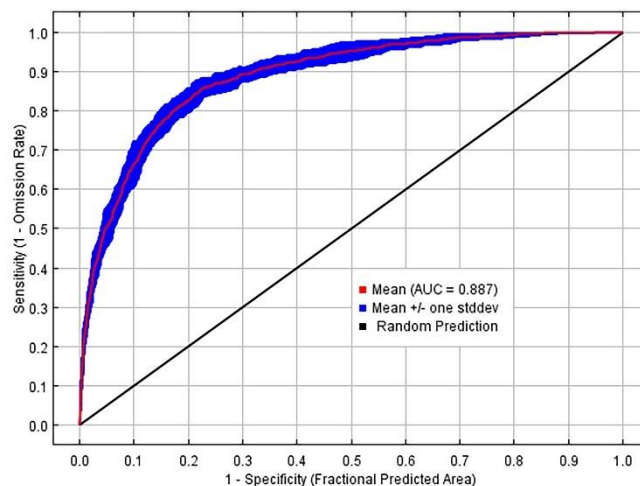
Table 1. Description of the selected predictor variables used in MaxEnt model for *Heliothis peltigera* and their percentage contribution.

Variable	Abbreviation	unit	percent contribution
Precipitation of wettest quarter	bio16	mm	28.9
Average wind speed in August	wind8	m×s <sup>-1</sup>	13.7
Isothermality (bio2/bio7) (×100)	bio3	-	10.4
Average wind speed in May	wind5	m×s <sup>-1</sup>	10.1
Temperature annual range (bio5-bio6)	bio7	°C×10	8.8
Elevation	altitude	m	7.3
Precipitation seasonality (coefficient of variation)	bio15	mm	6.7
Precipitation of driest quarter	bio17	mm	5.2
Average wind speed in February	wind2	m×s <sup>-1</sup>	1.9
Average wind speed in November	wind11	m×s <sup>-1</sup>	1.7
Average wind speed in September	wind9	m×s <sup>-1</sup>	1.2
Average wind speed in April	wind4	m×s <sup>-1</sup>	1
Average wind speed in October	wind10	m×s <sup>-1</sup>	0.9
Average wind speed in March	wind3	m×s <sup>-1</sup>	0.8
Average wind speed in December	wind12	m×s <sup>-1</sup>	0.6
Average wind speed in January	wind1	m×s <sup>-1</sup>	0.6

با توجه به اینکه برونداد اصلی مدل MaxEnt پیوسته است، برای مقایسه با داده‌های فقط حضور، لازم است پیش‌بینی دوتایی انجام گرفته و حد آستانه مناسبی انتخاب شود (Li and Guo, 2013). برای داده‌های فقط حضور روش‌هایی کمی ارائه شده‌اند (Phillips *et al.*, 2006؛ Peterson *et al.*, 2011؛ Li and Guo, 2013؛ Liu *et al.*, 2013). با این حال، برای training sites حداقل مقدار پیش‌بینی شده به عنوان حد آستانه در نظر گرفته می‌شود (Phillips *et al.*, 2006) که به آن آستانه حداقل حضور (Lowest Presence Threshold (LPT)) گفته می‌شود (Pearson *et al.*, 2007) و در این تحقیق نیز از این حد آستانه استفاده شد. در این دیدگاه در عین حالی که در یک مجموعه داده دسته‌بندی شده (training data set) خطای حذف (omission) صفر در نظر گرفته می‌شود، کوچک‌ترین نواحی پیش‌بینی شده برای حضور گونه شناسایی می‌شوند (Pearson *et al.*, 2007).

## نتایج

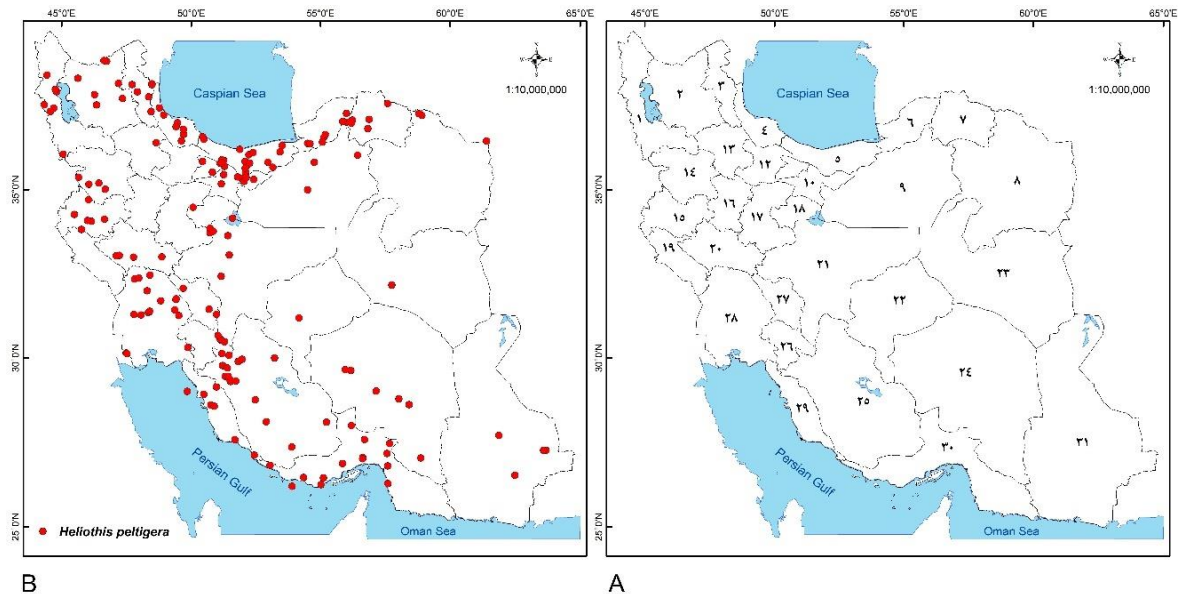
مقدار متوسط AUC برای *H. peltigera* مطابق نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر به طور معنی داری بزرگ‌تر از مدل‌های پیش‌بینی تصادفی مربوطه ( $AUC = 0.5$ ) و برابر با  $0.887$  بود. شکل ۲ نشان دهنده منحنی ROC به دست آمده برای این گونه است.



شکل ۲- منحنی‌های ROC مربوط به دقت مدل‌های پیش‌بینی پراکنش ایجاد شده برای *H. peltigera* با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt.

Figure 2. ROC curve verification of the predicted potential habitat for *H. peltigera* using MaxEnt.

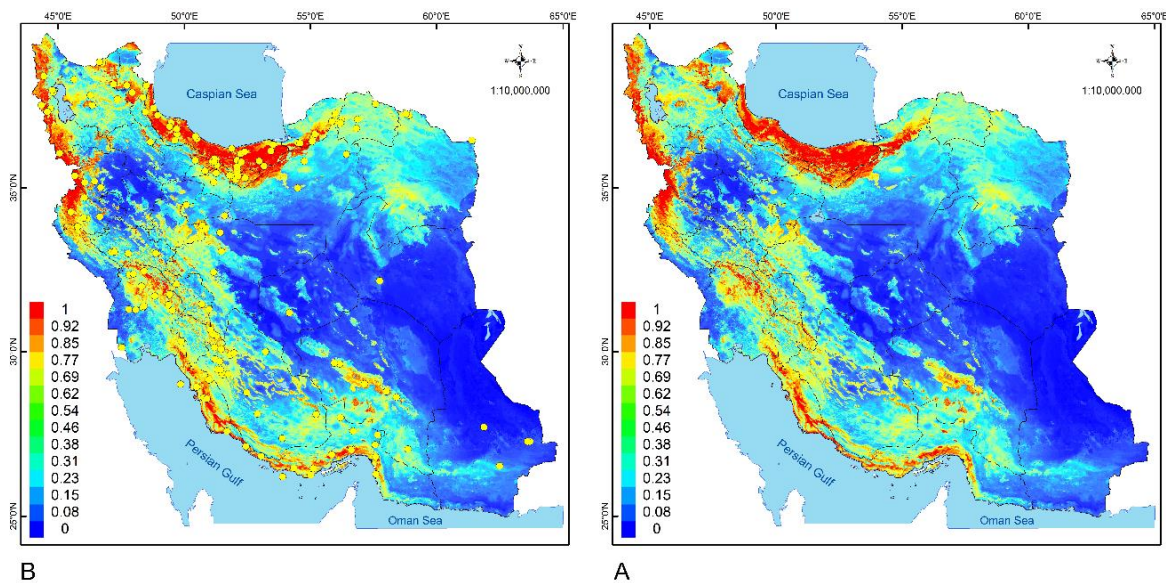
اطلاعات به دست آمده از نمونه‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد که گونه *H. peltigera* در نواحی شمالی، شمال غربی، غرب، جنوب و جنوب غربی کشور در مقایسه با دیگر نواحی پراکنده بیشتری دارد. مطابق نقشه محل‌های جمع‌آوری این گونه در ایران (شکل ۳)، در استان‌های خراسان جنوبی، یزد، خراسان شمالی، سیستان و بلوچستان، سمنان، ایلام، زنجان، مرکزی، شمال استان کرمان و شرق استان اصفهان نمونه‌های کم‌تری جمع‌آوری شده‌اند و از استان قزوین و همدان، نمونه‌ای جمع‌آوری نشده است (شکل ۳).



**شکل ۳- A)** نقشه کلی استان‌های ایران: ۱) آذربایجان غربی؛ ۲) آذربایجان شرقی؛ ۳) اردبیل؛ ۴) گیلان؛ ۵) مازندران؛ ۶) گلستان؛ ۷) خراسان شمالی؛ ۸) خراسان رضوی؛ ۹) سمنان؛ ۱۰) تهران؛ ۱۱) البرز؛ ۱۲) قزوین؛ ۱۳) زنجان؛ ۱۴) کردستان؛ ۱۵) کرمانشاه؛ ۱۶) همدان؛ ۱۷) مرکزی؛ ۱۸) قم؛ ۱۹) ایلام؛ ۲۰) لرستان؛ ۲۱) اصفهان؛ ۲۲) یزد؛ ۲۳) خراسان جنوبی؛ ۲۴) کرمان؛ ۲۵) فارس؛ ۲۶) کهگیلویه و بویراحمد. ۲۷) چهارمحال و بختیاری؛ ۲۸) خوزستان؛ ۲۹) بوشهر؛ ۳۰) هرمزگان؛ ۳۱) سیستان و بلوچستان. **B)** نقشه محل‌های جمع‌آوری نمونه‌های متعلق به گونه *H. peltigera* (دایره قرمز) در ایران.

**Figure 3.** A) Outline map of the provinces of Iran: 1) West Āzarbāijān. 2) East Āzarbāijān. 3) Ardebil. 4) Gilān. 5) Māzandarān. 6) Golestān. 7) North Khorāsān. 8) Razavi Khorāsān. 9) Semnān. 10) Tehrān. 11) Alborz. 12) Ghazvin. 13) Zanjān. 14) Kordestān. 15) Kermānshāh. 16) Hamedān. 17) Markazi. 18) Ghom. 19) Ilām. 20) Lorestān. 21) Esfahān. 22) Yazd. 23) South Khorāsān. 24) Kermān. 25) Fārs. 26) Kohgiluyeh and Boyerahmad. 27) Chāhārmahāl and Bakhtiāri. 28) Khuzestān. 29) Bushehr. 30) Hormozgān. 31) Sistān and Baluchestān. B) Collecting data locations of *H. peltigera* (red circle) in Iran.

نتایج نشان داد که سواحل جنوبی دریای خزر شامل استان‌های مازندران و گیلان برای حضور گونه *H. peltigera* شرایط بسیار مساعدی دارند. همچنین، شمال استان‌های تهران و البرز، غرب استان‌های آذربایجان غربی و کردستان، شمال غربی و غرب استان کرمانشاه، شمال شرقی استان خوزستان، مرکز و ناحیه کوچکی در شمال استان اردبیل، جنوب استان گلستان، شمال غربی استان سمنان، شمال و غرب استان بوشهر، جنوب استان هرمزگان، و بخش‌های پراکنده و محدودی در مرکز و جنوب استان کرمان، برای انتشار این آفت مناسبند. علاوه بر این، نواحی شمالی، نوار باریکی در جنوب و قسمت کوچکی در شرق استان فارس، شرق استان کهگیلویه و بویراحمد، غرب استان اصفهان، جنوب استان مرکزی، بخش‌هایی از شمال شرقی و جنوب شرقی استان لرستان و بخش‌های کوچک و پراکنده‌ای از استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی، تاحدودی برای حضور این آفت مناسب تشخیص داده شده‌اند (شکل ۴- A و B).



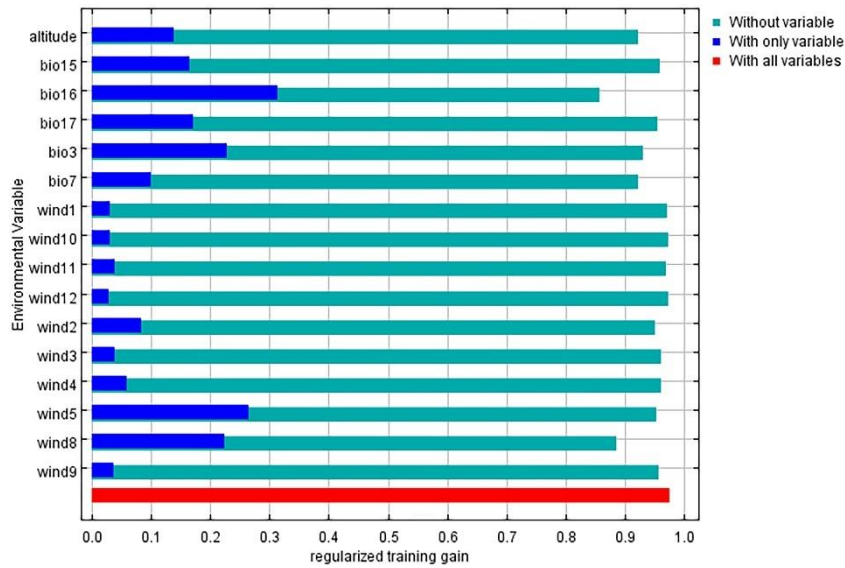
**شکل ۴-۲** پیش‌بینی پراکنش بالقوه *H. peltigera* در ایران بدون نقاط محل‌های جمع‌آوری (A) و همراه با نقاط محل‌های جمع‌آوری (B)، به کمک نرم‌افزار MaxEnt با میانگین مناسب بودن زیستگاه (habitat suitability) بالای ۱۰ تکرار از شبیه‌سازی bootstrap (bootstrapping simulation). رنگ‌های آبی تیره و قرمز، به ترتیب معرف نواحی نامساعد و بسیار مساعد هستند.

**Figure 4.** Predicted Potential Distribution of *H. peltigera* in Iran without collecting data locations (A) and with the locations (B), using MaxEnt, with mean habitat suitability map over 10 replications of bootstrapping simulation. Dark blue and red colors indicate unsuitable and most suitable areas, respectively.

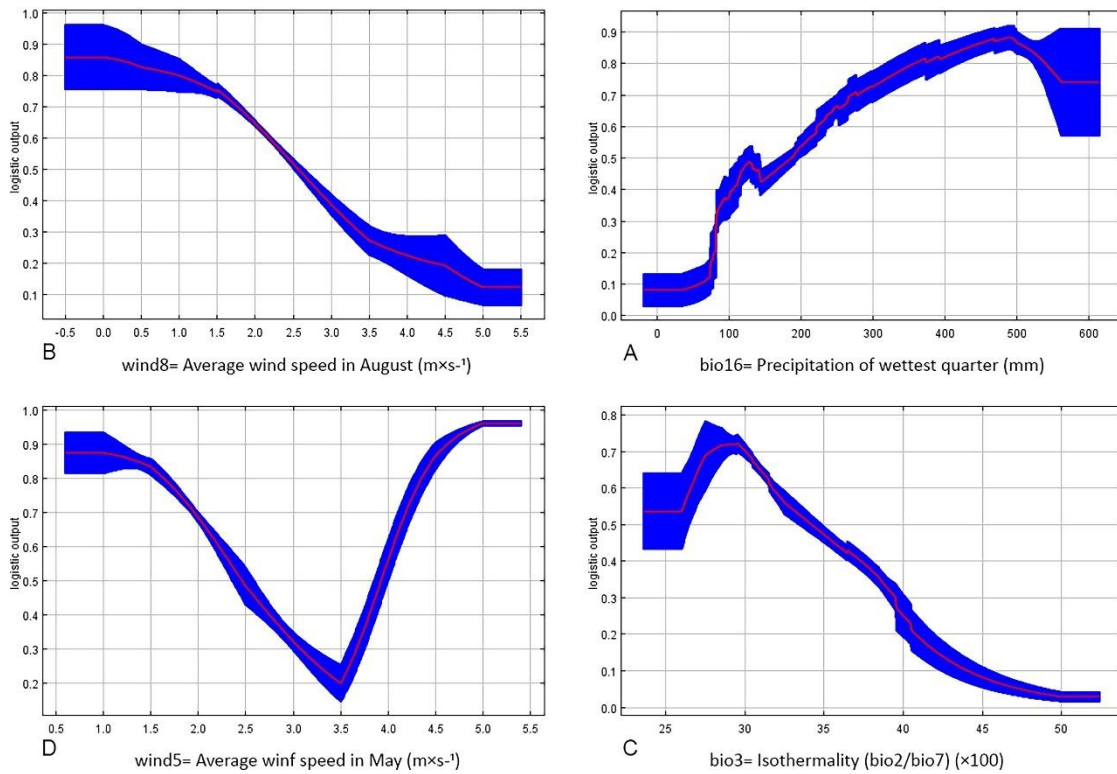
مطابق نتایج به‌دست‌آمده از آزمون Jackknife، متغیرهای اصلی زیست‌محیطی مؤثر در پیش‌بینی پتانسیل پراکنش *H. peltigera*، به ترتیب بارش، سرعت باد و دما، بودند (شکل ۵). بارش در مرطوب‌ترین سه ماه (bio16)، بیشترین اهمیت را در میان متغیرهای مرتبط با بارش داشت. از میان متغیرهای مربوط به سرعت باد، سرعت متوسط باد در اردیبهشت ماه (wind5) و شهریور ماه (wind8)، بیشترین تأثیر را در مدل به دست آمده داشتند و هم‌دمایی (Isothermality) یا نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه (bio3)، نیز بیشترین نقش را در مقایسه با سایر متغیرهای دمایی داشت (شکل ۵).

مطابق شکل (۶- A)، هنگامی که بارندگی در مرطوب‌ترین سه ماه سال بین حدود ۳۷ تا ۷۰ میلی‌متر است، شرایط به تدریج برای حضور *H. peltigera* مساعد می‌شود. اما زمانی که بارندگی بیش از ۷۰ میلی‌متر است شرایط با شیب تندی برای این گونه مناسب شود. زمانی که در شهریور ماه تقریباً باد وجود ندارد شرایط برای حضور و انتشار آفت مساعد است. زمانی که سرعت متوسط باد بین صفر تا ۱/۵ متر بر ثانیه است، شرایط به تدریج نامناسب می‌شود و از ۱/۵ متر بر ثانیه به بعد شرایط با شیب تندتری برای حضور گونه نامساعد می‌شود (شکل ۶- B).

زمانی که در اردیبهشت ماه سرعت متوسط وزش باد حدود ۱ متر بر ثانیه و کمتر است، شرایط برای حضور *H. peltigera* مناسب است. از ۱ تا ۱/۵ متر بر ثانیه، شرایط برای حضور آفت با شیب خیلی کمی نامناسب می‌شود و از ۱/۵ تا ۳/۵ متر بر ثانیه با شیب تندی نامساعد می‌شود، اما از این حد به بعد به سرعت مساعد می‌شود (شکل ۶- D). با استناد به نتایج به‌دست‌آمده، هنگامی که هم‌دمایی یا نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه حدود ۲۶ درصد و کمتر است، شرایط برای وجود آفت مناسب است، اما با افزایش آن تا نزدیک به ۳۰ درصد، شرایط به تدریج و با شیب تند مساعدتر شده و از این حد به بعد به تدریج و با شیب نسبتاً تند، برای حضور و انتشار آفت نامساعد می‌شود (شکل ۶- C).



شکل ۵- آزمون Jackknife اهمیت متغیرها برای داده‌های دسته‌بندی شده در *H. peltigera*.  
 Figure 5. Jackknife test of variable importance for train data in *H. peltigera*.



شکل ۶- منحنی واکنش (response curve) بین احتمال حضور و متغیرهای زیست محیطی در *H. peltigera*.  
 (A) بارش در مرطوب‌ترین سه ماه؛ (B) سرعت متوسط باد در شهریور ماه؛ (C) هم‌دمایی، یا نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه؛  
 (D) سرعت متوسط باد در اردیبهشت ماه.

Figure 6. Response curves between the probability of presence and environmental variables in *H. peltigera*. A) Precipitation of wettest quarter; B) Average wind speed in August; C) Isothermality (bio2/bio7) ( $\times 100$ ); D) Average wind speed in May.



## بحث

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که نقشه پراکنش مکانی این گونه (بر اساس داده‌های موجود) تقریباً منطبق با نقشه پیش‌بینی پتانسیل پراکنش آفت است و شمال، شمال غربی، شمال شرقی، غرب، جنوب غربی، و مناطقی در جنوب، برای حضور این آفت بسیار مطلوب هستند. از طرفی، نواحی شرقی و شرق قسمت مرکزی کشور شرایط مناسبی برای انتشار آفت ندارند. همچنین، با وجود اینکه از استان ایلام داده‌ای در این تحقیق وجود نداشت، نواحی شمالی آن برای حضور آفت بسیار مناسب تشخیص داده شدند. مشابه این حالت در استان‌های قزوین و همدان مشاهده شد و مشخص شد که برخی از نواحی شمالی استان قزوین و بخش‌هایی از جنوب استان همدان حتی در شرایطی که داده‌ای از آن مناطق ثبت نشده است، برای حضور آفت مستعد هستند. اما علی‌رغم جمع‌آوری یک نمونه از قسمت مرکزی استان خراسان جنوبی، این استان برای انتشار و استقرار آفت مناسب تشخیص داده نشد (شکل ۴- A و B). پیش از پرداختن به علت احتمالی این امر، ذکر این نکته لازم است که مسلماً یکی از دلایل اصلی عدم وجود نمونه در برخی از استان‌ها، کامل نبودن نمونه‌برداری‌ها در کشور است و این احتمال وجود دارد که با انجام نمونه‌برداری در مناطقی که نمونه‌ای از آن در موزه حشرات هابک میرزایانس موجود نیست (به‌خصوص استان‌های ایلام، قزوین و همدان)، به تعداد محل‌های جمع‌آوری اضافه شود.

این آفت پلی‌فاژ است و به برخی از محصولات کشاورزی وابستگی میزبانی دارد. شاید یکی از اصلی‌ترین دلایل مناسب نبودن نواحی شرقی و شرق قسمت مرکزی کشور برای حضور آفت به شرایط اقلیمی فلات مرکزی ایران، و محدود بودن فعالیت‌های انسانی و کشاورزی در این مناطق مربوط باشد. این حوزه به‌دلیل تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب در دسترس از یک سو و افزایش جمعیت و به‌تبع آن، افزایش تقاضا از سوی دیگر، با بحران شدید آب مواجه است (Ebrahimi Khusfi & Ebrahimi Khusfi, 2023). علاوه‌براین، فلات مرکزی ایران دوره‌های خشک‌سالی کشاورزی با شدت و گستردگی متفاوت را تجربه کرده است (Nemati et al., 2019). نواحی مرکزی، شرقی، و جنوب شرقی ایران با متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۵-۰ میلی‌متر و فصل رشد ۲-۰ ماه، دارای اکوسیستم خشکی بوده و به‌لحاظ کمبود منابع آبی و دیگر شرایط اقلیمی، پتانسیل ضعیفی برای کشاورزی دارند (Mesgaran et al., 2016). مشابه این وضعیت در تحقیقات انجام شده توسط Falsafi et al. (2022, 2024)، در مورد گونه‌های پلی‌فاژ *Spodoptera exigua*، *Agrotis segetum* و *Autographa gamma* مشاهده شد. بدین‌شکل که نواحی شرقی، جنوب شرقی و شرق قسمت مرکزی کشور برای حضور این آفات شرایط اقلیمی مناسبی نداشتند.

همان‌گونه که در قسمت نتایج به آن اشاره شد، به‌ترتیب، سه عامل بارش، سرعت باد و دما عوامل زیست‌محیطی مؤثر در پیش‌بینی پتانسیل پراکنش *H. peltigera* بودند. اگرچه تاکنون مطالعه‌ای در مورد عوامل زیست‌محیطی تأثیرگذار در پراکنش این آفت در دنیا صورت نگرفته است، اما تحقیقات Zhao et al., 2024، در مورد *Helicoverpa zea* که به زیرخانواده Heliiothinae تعلق دارد، نشان داد که در چین، میانگین دمای روزانه، ضریب تغییرات بارش فصلی، و بارندگی در خشک‌ترین و گرم‌ترین سه ماه سال بیشترین تأثیر را داشتند.

براساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، در مرطوب‌ترین سه ماه سال افزایش میزان بارندگی بیش از ۷۰ میلی‌متر، شرایط بسیار مناسبی را برای حضور این گونه فراهم می‌کند. بنابراین، میزان رطوبت در انتشار این آفت نقش مثبت دارد. پروین با مطالعه این گونه در سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۵۳، نشان داد که کرم قوزه گلرنگ در سال‌هایی که رطوبت محیط مناسب باشد، حالت طغیانی دارد و به نظر می‌رسد که فعالیت آن در سال‌های خشک و کم باران کاهش پیدا می‌کند (Parvin, 1990). وی همچنین نشان داد که طول زندگی شب‌پره‌ها در بهار بیشتر و در تابستان به دلیل گرمای هوا و کاهش رطوبت نسبی کمتر است. بنابراین، به نظر می‌رسد که در

مناطق مستعد برای حضور این آفت (شکل ۴- A و B)، هرچه میزان بارش در مرطوب‌ترین سه ماه سال بیشتر باشد، احتمال طغیان آفت بیشتر خواهد بود.

با استناد به اطلاعات برگرفته از مرکز آمار ایران در سال‌های اخیر (۱۳۹۸ و ۱۴۰۱)، و توجه به مقادیر بارش در مرطوب‌ترین سه ماه سال، در سال ۱۳۹۸ مراکز استان‌های کرمان، یزد و خراسان جنوبی با به‌ترتیب ۴۷/۹، ۵۳/۸ و ۷۰ میلی‌متر؛ و در سال ۱۴۰۱، مراکز استان‌های کردستان، سیستان و بلوچستان، یزد، قم، کرمان، هرمزگان، خراسان شمالی و خراسان جنوبی با به‌ترتیب ۳۲/۹، ۴۱/۲، ۵۱/۱، ۵۱/۷، ۶۱/۷، ۶۲/۳، ۶۸/۲ و ۷۱ میلی‌متر، بارش حدود ۷۰ میلی‌متر و کمتر داشته‌اند (SCI, 2018-2019, 2021-2022). بنابراین، طبق نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر باید برای حضور و انتشار آفت شرایط خیلی مناسبی نداشته باشند. این مسئله در مورد استان‌های کرمان، یزد، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، قم و خراسان شمالی کاملاً صدق می‌کند. اما، غرب استان کردستان، غرب و شمال غربی استان کرمانشاه، و جنوب استان هرمزگان برای حضور کرم قوزه گلرنگ بسیار مناسب تشخیص داده شده‌اند. مسلماً در این دو استان عوامل دیگری مانند سایر میزبان‌های گیاهی و حتی میزبان‌های وحشی آفت، ممکن است در استقرار آن نقش داشته باشند. به‌عنوان مثال، مطابق آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، استان هرمزگان از لحاظ سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی با ۱۴۹۹۹ هکتار، بعد از استان فارس (با ۲۵۹۳۵ هکتار)، در رتبه دوم قرار دارد (Anonymous, 2021-2022) و گوجه‌فرنگی یکی از میزبان‌های مهم کرم قوزه گلرنگ در ایران است (Fibiger et al., 2009). همچنین، استان کرمانشاه با ۱۵۳۶۹۹ هکتار و استان کردستان با ۸۱۹۹۹ هکتار، از لحاظ سطح زیرکشت نخود آبی و دیم به‌ترتیب در جایگاه‌های اول و دوم کشور قرار گرفته‌اند (Anonymous, 2021-2022) که نخود نیز یکی از میزبان‌های ترجیحی این آفت است (Fibiger et al., 2009). در استان کردستان اصلاً گلرنگ کشت نمی‌شود و استان آذربایجان غربی و کرمانشاه هم سطح کشت خیلی کمی دارند (Anonymous, 2021-2022).

دلیل دیگر این امر ممکن است وجود جمعیت بالای دشمنان طبیعی این گونه در آن مناطق باشد. بر اساس منابع موجود، گونه‌هایی از بال‌غشائیان خانواده‌های Braconidae، Ichneumonidae و Trichogrammatidae و دو بالان خانواده Tachinidae به‌عنوان دشمنان طبیعی *H. peltigera* و گونه‌هایی از بالتوری‌های متعلق به خانواده Chrysopidae به‌عنوان شکارگرهای آن در دنیا معرفی شده‌اند (Simoglou et al., 2016) که برخی از آن‌ها در ایران نیز انتشار دارند. همچنین ممکن است عوامل دیگری مانند درجه حرارت و ارتفاع مناطق، عوامل انسانی و... در این میان دخیل باشند. مطابق دستورالعمل تهیه شده توسط (Jabbari et al., 2019)، این آفت در تمام مناطق گلرنگ‌کاری به‌ویژه گلرنگ‌کاری‌های دیم استان‌های فارس (دشت خرامه) و کردستان خسارت شدیدی به محصول می‌زند. اما خوشبختانه سطح زیرکشت آبی و دیم گلرنگ در این دو استان (به‌ترتیب ۵۶۰ و ۱۸۰ هکتار) چندان زیاد نیست (Anonymous, 2021-2022) و از طرفی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنها نواحی شرقی استان کردستان و قسمت‌هایی از شمال و جنوب غربی استان فارس شرایط اقلیمی مناسبی برای انتشار این آفت دارند.

با وجود اینکه این آفت با نام کرم قوزه گلرنگ شناخته شده است، اما گلرنگ تنها میزبان مهم آن در کشور نیست (Parvin, 1990). مطابق آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، دو استان اصفهان و همدان، به‌ترتیب با ۲۹۷۵ و ۲۱۲۹ هکتار، بیشترین سطح کشت گلرنگ را در کشور دارند. اما تنها نواحی جنوبی استان همدان و شرق استان اصفهان به‌واسطه متغیرهای زیست‌محیطی برای حضور و انتشار آفت مناسب تشخیص داده شده‌اند. نتایج حاکی از آنند که تقریباً تمام نواحی استان‌های گیلان و مازندران برای حضور و استقرار آفت شرایط اقلیمی مناسبی دارند (شکل ۴- A و B). اما خوشبختانه به غیر از سویا که استان مازندران از لحاظ سطح زیر کشت آن با ۴۴۴۲ هکتار مقام سوم را دارد (Anonymous, 2021-2022)، سایر محصولات مهم و اقتصادی که میزبان *H. peltigera* در این دو استان هستند، سطح زیر کشت نسبتاً پایینی دارند. از طرفی تاکنون گزارشی درباره

خسارت شدید این آفت به سویاکاری های مازندران ارایه نشده است. سه استان خوزستان، کرمانشاه و جنوب استان کرمان به ترتیب با ۵۱۱۷۳، ۲۸۲۵۹ و ۲۳۸۶۵ هکتار، بیشترین سطح زیر کشت ذرت علوفه ای را در کشور دارند (Anonymous, 2021-2022). با توجه به اینکه طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق شرق استان کرمانشاه، شمال غربی استان خوزستان و قسمت هایی از مرکز و جنوب استان کرمان شرایط مناسبی برای حضور این آفت دارند (شکل ۴- A و B)، بهتر است کشت ذرت در این سه استان در نواحی بسیار مستعد انجام نگیرد. از طرفی استان کرمانشاه بیشترین سطح کشت نخود در کشور را دارد که این محصول یکی از میزبان های مهم *H. peltigera* است و در نخودکاری های استان نیز باید به این مسئله توجه نمود. همچنین، استان آذربایجان غربی رتبه دوم را از لحاظ سطح زیرکشت یونجه دارد (Anonymous, 2021-2022) که یکی از میزبان های کرم قوزه گلرنگ است (Fibiger et al., 2009) و با توجه به اینکه مطابق نتایج به دست آمده در این تحقیق، شرق استان برای حضور آفت شرایط اقلیمی مناسبی دارد (شکل ۴- A و B)، بهتر است یونجه کاری ها بیشتر به قسمت غربی و شمالی استان محدود شوند.

تاکنون در مورد تأثیر شرایط آب و هوایی در پراکنش *H. peltigera* تحقیقی در دنیا صورت نگرفته است. اما مطالعات انجام شده در مورد *Helicoverpa armigera* که به همین زیر خانواده تعلق دارد نشان داده اند که دو عامل بارندگی و دما را در پیش بینی پراکنش آن نقش بسیار مهمی دارند (Srivastava et al., 2010؛ Wakil et al., 2010؛ Hameed et al., 2015). به عنوان مثال، Hameed et al. (2015) در مطالعه پنج ساله خود نشان دادند که دمای حداکثر، تأثیر منفی بر جمعیت *H. armigera* دارد، در حالی که رطوبت نسبی تأثیر مثبت و معنی داری بر جمعیت آن دارد. اما، نتایج Wakil et al. (2010) حاکی از آن بود که در مزارع گوجه فرنگی پاکستان دما نقش مثبتی در افزایش جمعیت لارو و آلوده شدن گوجه فرنگی دارد، در حالی که رطوبت نسبی با آن رابطه منفی دارد. مطالعات انجام شده توسط Parvin (1990) و تحقیق حاضر اگرچه در مورد *H. peltigera* هستند، اما نشان دهنده تأثیر مثبت میزان رطوبت در انتشار آفت بوده و با نتایج به دست از تحقیقات Hameed et al. (2015) در مورد *H. armigera* مطابقت دارند.

مطابق نتایج به دست آمده در این تحقیق، زمانی که در شهریور ماه سرعت متوسط باد از ۱/۵ متر بر ثانیه بیشتر می شود، شرایط با شیب تندی برای حضور گونه نامساعد می شود (شکل ۶- B). این آفت چندنسلی است (Kravchenko et al., 2005) و بر اساس مطالعات انجام شده توسط Parvin (1990)، در مزارع گلرنگ ایران سه نسل در سال دارد که نسل سوم زمستان را در داخل خاک به صورت شفیره سپری می کند. تاکنون مطالعه دیگری روی تعداد نسل های آفت روی سایر میزبان های آن در ایران انجام نگرفته است، اما این احتمال وجود دارد که روی بقیه میزبان ها نیز سه نسل داشته باشد. Parvin (1990) نشان داد که نسل سوم این آفت در اواسط مرداد ظاهر می شود و لارو سن آخر به عمق ۵-۸ سانتی متری خاک رفته و در آنجا به شفیره تبدیل می شود. در نسل سوم مرحله جنینی ۲-۴ روز و مراحل لاروی ۱۳-۱۷ روز به طول می انجامند (Parvin, 1990) و به این ترتیب، آخرین سن لاروی در شهریور ماه مشاهده می شود. افزایش سرعت وزش باد در این مرحله ممکن است منجر به خشک شدن بدن لارو شود و متعاقباً، باعث نامساعد شدن شرایط محیط برای حضور گونه خواهد شد.

بسیاری از گونه های بال پولک داران که برخی از آن ها جزو مهم ترین آفت محصولات کشاورزی هستند، قادرند طی چند شب متوالی صدها کیلومتر مهاجرت کنند که باد نقش مهمی در این مهاجرت دارد (Pedgley and Yathom, 1993). کرم قوزه گلرنگ گونه ای مهاجر است (Matov et al., 2008)، اما به دلیل زمستان گذرانی نسل سوم که در مرحله شفیرگی و در اواخر مرداد و اوایل شهریور ماه انجام می گیرد، غالباً حشره بالغ نسل سوم در پاییز مشاهده نمی شود. با این وجود، مطالعات انجام شده توسط Parvin (1990) در فاصله سال های ۱۳۵۱ تا ۱۳۵۳ نشان داد که شب پره های نسل آخر این گونه در بعضی از سال ها مهاجرت کرده و از کانون های خود به نقاط دیگر پرواز می کنند و این مهاجرت معمولاً در پاییز اتفاق می افتد (Parvin, 1990). بنابراین به نظر می رسد که تحت بعضی

شرایط نسل سوم آفت در پاییز کامل شده و حشره بالغ ظاهر می‌شود. در چنین مواقعی، افزایش سرعت وزش باد در شهریور ماه باعث جابه‌جا شدن شب‌پره بالغ می‌شود.

مطابق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، زمانی که سرعت متوسط وزش باد در اردیبهشت ماه از ۱ تا ۱/۵ متر بر ثانیه است، شرایط برای حضور آفت با شیب خیلی کمی نامناسب می‌شود و از ۱/۵ تا ۳/۵ متر بر ثانیه شیب تندی دارد (شکل ۶- D). با توجه به اینکه نسل اول این آفت در اردیبهشت ماه ظاهر می‌شود و تراکم جمعیت آفت در بهار به مراتب بیشتر از تابستان است (Parvin, 1990)، افزایش وزش باد در فصل بهار و به‌ویژه اردیبهشت ماه باعث جابه‌جا شدن شب‌پره بالغ شده و شرایط را برای استقرار آن در منطقه دشوار می‌سازد.

هنگامی که نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالانه حدود ۲۶ درصد و کمتر است، شرایط برای وجود آفت مناسب است، اما با افزایش آن تا نزدیک به ۳۰ درصد، شرایط برای حضور و انتشار آفت نامساعد می‌شود (شکل ۶- C). داده‌های به‌دست آمده از مرکز آمار ایران در سال‌های اخیر (۱۳۹۸ و ۱۴۰۱) حاکی از آنند که هم‌دمایی مراکز استان‌های گیلان و مازندران در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۱ (گیلان به ترتیب ۱۸/۰۸ و ۲۱/۹۹ درصد؛ مازندران به ترتیب، ۲۵ و ۲۳/۷۴ درصد) (SCI, 2018-2019, 2021-2022)، که مساعدترین شرایط را در مقایسه با سایر استان‌های کشور دارند، کمتر از ۲۶ درصد است که مطابق نتایج حاصل از این تحقیق، آفت در این محدوده هم‌دمایی بهترین شرایط را برای استقرار دارد (شکل ۶- C).

بنابراین، بررسی عادات اکولوژیک *H. peltigera* و پیش‌بینی توزیع آن در مناطقی که میزبان‌های اصلی آفت در آنجا سطح کشت بالایی دارند، به‌منظور توسعه استراتژی‌های کنترلی می‌تواند حایز اهمیت باشد.

## سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز و مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور برای در اختیار قراردادن امکانات پژوهشی برای انجام این تحقیق قدردانی می‌گردد.

## منابع

- Acevedo, P., Ward, I.A., Real, R., & Smith, G.C. 2010. Assessing biogeographical relationships of ecologically related species using favour ability functions: a case study on British deer. *Diversity and Distributions*, 16: 515–525. <http://do.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00662.x>
- Anonymous. 2021-2022. *Agricultural Statistics 2021-2022, crops. Vol. 1*. Vice President of Statistics, Center for Statistics, Information and Communication Technology. 103 p. (In Persian).
- Aragón, P. & Lobo, J.M. 2012. Predicted effect of climate change on the invasibility and distribution of the Western corn root-worm. *Agricultural and Forest Entomology*, 14 (1): 13–18. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00532.x>
- Ayten, S., Beyarslan, A. & Ülgentürk, S. 2020. A new larval parasitoid of *Heliiothis peltigera* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Noctuidae), *Aleiodes (Chelonorhogas) miniatus* (Herrich-Schäffer) (Hymenoptera: Braconidae: Rogadinae). *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 11 (1): 83–89. <http://doi.org/10.31019/tbmd>.

- De Meyer, M., Robertson, M.P. & Mansell, M.W. 2010. Ecological niche and potential geographic distribution of the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, 100 (1): 35–48. <https://doi.org/10.1017/S0007485309006713>
- Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., García Marquéz, J.R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P.J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P.E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A.K., Zurell, D. & Lautenbach, S. 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 6 (1): 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S. & Zimmermann, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Ebrahimi Khusfi, M. & Ebrahimi Khusfi, Z. 2023. An analysis of the Trend Changes in Water Resources and Factors Affecting it in the Central Plateau of Iran Using Satellite Products. *Iranian Remote Sensing & GIS*, 15 (4): 41–60.
- Epstein, P. R., Diaz, H. F., Elias, S., Grabherr, G., Graham, N. E., Martens, W. J. M., Mosley-Thompson, E. & Susskind, J. 1998. Biological and physical signs of climate change: Focus on mosquito-borne diseases. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (3): 409–418. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0409:BAPSOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0409:BAPSOC>2.0.CO;2)
- ESRI. 2016. ArcGIS 10.5. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Falsafi, H., Alipanah, H., Ostovan, H., Hesami, Sh. & Zahiri, R. 2022. Forecasting the potential distribution of *Spodoptera exigua* and *S. littoralis* (Lepidoptera, Noctuidae) in Iran. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. No. 25(3): 101956. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.101956>
- Falsafi, H., Alipanah, H., Ostovan, H., Hesami, Sh. & Zahiri, R. 2024. Investigation of the most important climatic factors affecting distribution of *Autographa gamma* and *Agrotis segetum* in Iran. *Applied Entomology & Phytopathology*, 92 (in press).
- Fan, S., Chen, C., Zhao, Q., Wei, J. & Zhang, H., 2020. Identifying potentially climatic suitability areas for *Arma custos* (Hemiptera: Pentatomidae) in China under climate change. *Insects*, 11: 674. <https://doi.org/10.3390/insects11100674>.
- Fibiger M., Ronkay, L., Steiner, A. & Zilli, A. 2009. *Noctuidae Europaeae. Vol. 11, Pantheinae, Dilobinae, Acronictinae, Eustrotinae, Nolinae, Bagisarinae, Acontiinae, Metoponiinae, Heliothinae and Bryophilinae*. Entomological Press, Soro, 504 p.
- García, A., 2006. Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the Herpetofauna of Pacific lowlands and adjacent interior valleys of Mexico. *Biological Conservation*, 130 (1): 25–46. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.030>.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and R. Moore. 2020. Google Earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of environment. Google.
- Hameed, A., Shahzad, M.S., Ahmad, S. & Karar, H. 2015. Forecasting and Modelling of *Helicoverpa armigera* (Hüb.) in Relation to Weather Parameter in Multan, Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 47 (1): 15–20.
- Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L. & Albert, D.L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modelling methods. *Ecography*, 29: 773–785. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>

- Hernandez, P.A., Franke, I., Herzog, S.K., Pacheco, V., Paniagua, L., Quintana, H.L., Soto, A., Swenson, J.J., Tovar, C., Valqui, T.H., Vargas, J. & Young, B.E. 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 17: 1353–1366. <http://doi.org/10.1007/s10531-007-9314-z>
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25 (15): 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 15 (2): 56–61. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01764-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01764-4)
- Iqbal, N. & Mohyuddin, A.I. 1990. Eco-biology of *Heliothis* spp. in Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 11: 257–266.
- Jabbari, H., Pourdard, S.S., Omid, A., Nazari, M., Sadeghi Garmaroodi, H., Shahsavari, M., Noorgholipour, F., Razavi, R., Karaminezhad, M., Keyhanian, A.A., Jamshidi Moghaddam, M., Safari, M., Akbari, M. & Sharif Nasab, H. 2019. *Technical instructions for safflower cultivation (rainfed and irrigated)*. Seed and Plant Improvement Institute. 40 p.
- Jong, de Y. & Döring, M. 2016. Fauna Europaea - Lepidoptera. Fauna Europaea Consortium. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/0ub3co> (accessed via GBIF.org on 11 June 2024).
- Kadmon, R., Farber, O. and A. Danin. 2004. Effect of roadside bias on the accuracy of predictive maps produced by bioclimatic Models. *Ecological Applications*, 14: 401–413. <https://doi.org/10.1890/02-5364>
- Kriticos, D.J., Ota, N., Hutchison, W.D., Beddow, J., Walsh, T, Tay, W.T., Borchert, D.M., Paula-Moreas, S.V., Czapak, C. & Zalucki, M.P. 2015. The Potential Distribution of Invading *Helicoverpa armigera* in North America: Is It Just a Matter of Time?. *PLoS ONE*, 10 (3): e0119618. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0119618>
- Larson, S.R., DeGroot, J.P., Bartholomay, L.C. & Sugumaran, R. 2010. Ecological niche modeling of potential West Nile virus vector mosquito species in Iowa. *Journal of Insect Science*, 10: 1–17. <https://doi.org/10.1673/031.010.11001>
- Li, W. & Guo, Q. 2013. How to assess the prediction accuracy of species presence–absence models without absence data? *Ecography*, 36 (7): 788–799. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07585.x>
- Liu, C., White, M. & Newell, G. 2013. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography*, 40 (4): 778–789.
- Manjunath, T.M., Patel R.C. & Yaoav, D.N. 1976. Observations on *Heliothis peltigera* (Seiff.) (Lep.: Noctuidae) and its natural enemies in Anand (Gujarat State, India). *Proceedings Indian Academy of Sciences*, 83 (2): 55–65.
- Matov, A., Zahiri R., & Holloway, J.D. (2008). The Heliethinae of Iran (Lepidoptera: Noctuidae). *Zootaxa*, 1763: 1–37.
- Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H. & Azadi, P. 2016. Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran, working paper 2, stanford Iran 2040 project. Stanford University. <https://purl.stanford.edu/vf990qz0340>
- Nematollahi, M.R. & Bagheri, M.R. 2018. Distribution and Population density of Safflower Pests and their Natural Enemies in Isfahan Province, Iran. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 7 (3): 91–101.
- Nemati, A., Ghoreishi Najafabadi, S.H., Joodaki, G. & Mousavi Nadoushni, S.S. 2019. Evaluation of Agricultural Drought Characteristics in Iran's Central Plateau Catchment Using GRACE Satellite.

- Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50: 313–327. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.251136.667840>
- Parnesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A. & Warren, M. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399 (6736), 579–583. <https://doi.org/10.1038/21181>.
- Parvin, A. 1990. Some biological features of *Heliothis peltigera* Schiff on Safflower. *Applied Entomology & Phytopathology*, 57 (1–2): 45–51.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M. and A.T. Peterson. 2007. Predicting species distribution from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34: 102–117. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Pedgley, D.E. & Yathom, S. 1993. Windborne moth migration over the Middle East. *Ecological Entomology*, 18: 67–72.
- Peterson, A.T. and J. Soberón. 2012. Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right. *Natureza & Conservação*, 10 (2): 1–6. <http://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>
- Peterson, A.T., Papes, M. & Soberón, J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213 (1): 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
- Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, A.J., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E. & Nakamura, M. 2011. *Modelling Ecological Niches: Modelling Algorithms: Ecological Niches and Geographic Distributions, Monographs in Population Biology*. Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 101–112.
- Phillips, S.J. 2010. A brief tutorial on Maxent (American Museum of Natural History, New York): *Lessons in Conservation*, 3: 108–135.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190 (3): 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
- Phillips, S.J. & Dudík, M. 2008. Modeling of Species Distributions with MaxEnt: New Extensions and a Comprehensive Evaluation. *Ecography*, 31: 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>.
- Ragionieri, L., Özbacı, B., Neupert, S., Salts, Y., Davidovitch, M., Altstein M. & Predel, R. 2017. Identification of mature peptides from pban and capa genes of the moths *Heliothis peltigera* and *Spodoptera littoralis*. *Peptides*, 94: 1–9.
- Roura-Pascual, N. Brotons, L., Peterson, A.T. and W. Thuiller. 2009. Consensual predictions of potential distributional areas for invasive species: a case study of Argentine ants in the Iberian Peninsula. *Journal of Biological Invasions*, 11: 1017–1031. <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9313-3>
- Saeidi K., A. Nur Azura, D. Omar & F. Abood. 2011. Pests of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) and their natural enemies in Gachsara, Iran. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 1 (6): 286–291.
- SCI. 2018-2019. Iran statistic yearbook, 1. Land and climate. Available from URL: <https://www.amar.org.ir/english/Iran-Statistical-Yearbook/Statistical-Yearbook-2018-2019>. 88 pp. (accessed 5 May 2024).
- SCI. 2021-2022. Iran statistic yearbook, 1. Land and climate. Available from URL: <https://www.amar.org.ir/english/Iran-Statistical-Yearbook/Statistical-Yearbook-2021-2022>. 86 pp. (Accessed 5 May 2024).

- Simoglou, K.B., Anastasiades, A.I. & Baixeras, J. 2015. First report of the bordered straw, *Heliothis peltigera*, on sunflower in Greece. *Entomologia Hellenica*, 24: 31–36.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V. & Lemić, D. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12 (5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440> (2021)
- Srivastava, C.P., Joshi, N. & Trivedi, T.P. 2010. Forecasting of *Helicoverpa armigera* populations and impact of climate change. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80 (1): 3–10.
- Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*. 240: 1285–1293.
- Wakil, W., Ghazanfar, M.U., Kwon, Y.J., Qayyum, M.A. & Nasir, F. 2010. Distribution of *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in tomato fields and its relationship to weather factors. *Entomological Research*, 40: 290–297. <http://doi.org/doi:10.1111/j.1748-5967.2010.00301.x>
- Wang YS. Xie BY. Wan FH. Xiao QM. & Dai LY. 2007. Potential geographic distribution of *Radopholus similis* in China. *Agricultural Sciences in China*, 6 (12):1444–1449. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60006-1](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60006-1)
- Weigand, S. & Tahhan, O. 1990. Chickpea insect pests in the Mediterranean zones and new approaches to their management, pp. 169–175, In: van Rheenen, H.A. & Saxena, M.C. (Eds) *Chickpea in the Nineties: Proceedings of the Second International Workshop on Chickpea Improvement*, 4-8 December 1989, ICRISAT, Patancheru, India.
- Zhao, H., Xian, X., Zhao, Z., Zhang, G., Liu, W. & Wan, F. 2022. Climate Change Increases the Expansion Risk of *Helicoverpa zea* in China According to Potential Geographical Distribution Estimation. *Insects*, 13: 79. <https://doi.org/10.3390/insects13010079>
- Zhu, J., Li, B.-p. & Meng, L. 2011. Simulation and prediction of potential distribution of *Helicoverpa armigera* in China under global warming. *Chinese Journal of Ecology*, 30 (7): 1382–1387. (In Chinese).





## Geographic distribution and impacts of environmental factors on predicting the distribution of *Heliothis peltigera* (Lep.: Noctuidae) in Iran

Hossein Falsafi<sup>1</sup>, Helen Alipanah<sup>\*2</sup>, Hadi Ostovan<sup>1</sup>, Shahram Hesami<sup>1</sup>, Reza Zahiri<sup>3</sup>

(1) Department of Entomology, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

(2) Insect Taxonomy Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) Tehran, Iran

(3) Department of Life Sciences, Entomology Section, State Museum of Natural History Karlsruhe, Karlsruhe, Germany

(\* halipanah@gmail.com)

### Abstract

The bordered straw, *Heliothis peltigera* (Denis & Schiffermüller) is a well-known agricultural pest of some economically important plants throughout the world and Iran. In this paper, suitable areas for the potential distribution of this species in Iran were predicted using MaxEnt model, R package and ArcGIS based on its occurrence data and the bioclimatic factors. Moreover, the important climatic factors affecting their potential distribution were investigated. Based on the results of this study, the most suitable areas for this species are Gilan and Mazandaran Provinces. Additionally, most parts of the Bushehr Province and southern parts of the Hormozgan Province as well as western parts of the West Azarbaijan, Kordestan and Kermanshah Provinces have suitable conditions compared with the other areas. The main environmental variables contributing their distribution were precipitation of the wettest quarter (bio16), average wind speed in August (wind8) and May (wind5), and isothermality (bio2/bio7) (bio3). Predicting the distribution of this pest in the areas with high cultivation of its main hosts, can be important in the development of pest control strategies, obviously.

**Keywords:** Distribution, bioclimatic factors, MaxEnt, species distribution models, Noctuidae.