

مقاله پژوهشی

بررسی مهم ترین عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر پراکنش دو گونه *Agrotis segetum* و *Autographa gamma* در ایران

حسین فلسفی^۱، هلن عالی پناه^۲، هادی استوان^۳، شهرام حسامی^۴، رضا ظهیری^۵

۱- ۳- دانشجوی دکتری، استاد، گروه حشره‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران؛ ۲- استادیار، بخش تحقیقات رده‌بندی حشرات، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ ۴- دانشیار گروه حشره‌شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران؛ ۵- دپارتمان علوم طبیعی، بخش حشره‌شناسی، موزه تاریخ طبیعی کارلسروهه، کارلسروهه، آلمان.
(تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:)

چکیده

شب‌پره‌های گاما، *Autographa gamma* و کرم طوقه‌بر *Agrotis segetum* از مهم‌ترین آفات کشاورزی در دنیا و ایران به‌شمار می‌روند. در این تحقیق با استناد به داده‌های مربوط به حضور این گونه‌ها در ایران و به‌کمک نرم‌افزارهای MaxEnt، R و ArcGIS، مناطق مناسب برای انتشار بالقوه آن‌ها پیش‌بینی و عوامل اقلیمی مؤثر مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که استان‌های شمالی برای هر دو گونه مناسب‌ترین شرایط را دارند؛ اما در *A. segetum* استان بوشهر، بخش‌هایی از استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، و شمال استان فارس نیز مستعد هستند. همچنین، عواملی چون نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالانه (bio3)، سرعت متوسط باد در شهریور ماه (wind8) و ضریب تغییرات بارش فصلی (bio15)، بیشترین تأثیر را در انتشار گونه‌ها دارند. در *A. gamma*، بارش در خشک‌ترین سه ماه (bio17)، و در *A. segetum*، بارش در مرطوب‌ترین سه ماه (bio16)، اهمیت زیادی داشتند. همچنین، مشخص شد که ارتفاع نقش زیادی در مدل پراکنش *A. segetum* دارد. بدیهی است، آگاهی از مناطق مناسب برای حضور این دو آفت و توجه به ترجیح‌های میزبانی آن‌ها، نقش مهمی در ارائه برنامه‌های مدیریتی مناسب خواهد داشت. واژه‌های کلیدی: انتشار، عوامل اقلیمی، مدل‌های توزیع گونه‌ها، مناطق مناسب، Noctuidae.

Investigation of the most important climatic factors affecting distribution of *Autographa gamma* and *Agrotis segetum* in Iran

HOSSEIN FALSAFI¹, HELEN ALIPANAH², HADI OSTOVAN³, SHAHRAM HESAMI⁴, REZA ZAHIRI⁵

1, 3. PhD student, Professor, of Department of Entomology, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran; 2- Assistant Professor, of Insect Taxonomy Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) Tehran, Iran; 4- Associate Professor, of Department of Entomology, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran; 5- Department of Life Sciences, Entomology Section, State Museum of Natural History Karlsruhe, Karlsruhe, Germany

Abstract

The Silver Y, *Autographa gamma* and the Turnip moth, *Agrotis segetum* are considered amongst the most important agricultural pests in the world and Iran. In this paper, the potential distribution of these species in Iran and the important climatic factors affecting their distribution were determined using MaxEnt model, R package and ArcGIS based on their occurrence data. The results showed that, the most suitable areas in both species, are restricted to the northern Provinces; but in *A. segetum* the Bushehr Province, parts of the Chaharmahal and Bakhtiari and Kohgiluyeh, and Boyerahmad Provinces, and north of the Fars are also suitable. The main environmental variables contributing to their distribution were isothermality (bio2/bio7) (bio3), average wind speed in August (wind8), and precipitation seasonality (coefficient of variation). Moreover, precipitation of the driest quarter (bio17) and precipitation of the wettest quarter (bio16) were dominant climatic factors in *Au. gamma* and *A. segetum*, respectively. Additionally, the altitude had a major effect in distribution model of *A. segetum*. Having knowledge about the suitable areas for these species considering their host preferences will be effective in providing their management programs.

Keywords. Distribution, climatic factors, species distribution models, suitable areas, Noctuidae.

✉ halipناه@gmail.com

© 2023, The Author(s). Published by Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

مقدمه

برخی از گونه‌های متعلق به بال‌پولک‌داران خانواده Noctuidae، جزو مهم‌ترین آفات کشاورزی هستند که از این میان می‌توان به دو گونه *Autographa gamma* (Linnaeus, 1758) و *Agrotis segetum* (Denis & Schiffermüller, 1775) اشاره کرد. شب‌پره گاما، *Au. gamma* گونه‌ای پلی‌فاز است که در تمام اروپا، آسیا و شمال آفریقا (Carneiro, 2022) و نیز در تمام نقاط ایران انتشار دارد (Afshar, 1936). چغندرقتند، پنبه، سویا، ذرت، شبدر، جو، یونجه، کتان، سیب‌زمینی، نخود، کرچک، شاهدانه و کاهو، از جمله میزبان‌های مهم این حشره در ایران هستند (Behdad, 2002). این آفت در آسیا و اروپا دو تا سه نسل، و در ایران در شرایط آب و هوایی مختلف، سه تا چهار نسل در سال دارد (Khanjani, 2013). گونه *A. segetum* که نوعی کرم طوقه‌بر و پلی‌فاز است، در قاره‌های اروپا، آسیا و شمال و جنوب آفریقا گسترش دارد (EPPO, 2023). این آفت در مناطق مختلفی از ایران انتشار دارد و به چغندرقتند، پنبه، خیار، کدو، سیب‌زمینی، یونجه، بادمجان، گوجه فرنگی و ... خسارت می‌زند، و یکی از آفات مهم پنبه (Davachi, 1949) و چغندرقتند (Kheyri, 1966) در کشور به‌شمار می‌آید. تعداد نسل آفت تابع شرایط آب و هوایی است. به‌عنوان مثال در کرج (Kheyri, 1966) سه نسل و در استان گیلان، سه تا چهار نسل در سال دارد (Shenasi, 1973). پایش تحرکات آفات، توانایی پیش‌بینی اثرات اکولوژیک ناشی از تغییرات اقلیمی بر مهاجرت آن‌ها، و روش‌های بی‌خطر زیست‌محیطی به‌منظور کنترل پیش‌گیرانه آفات، از جمله مواردی هستند که معمولاً در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی آفات مورد توجه قرار می‌گیرند. مطالعات نشان داده‌اند که تغییرات شرایط آب و هوایی، تأثیر زیادی روی فعالیت حشرات دارند. از طرفی، تغییرات رو به افزایش الگوهای بارندگی که منجر به خشکسالی‌های طولانی‌مدت یا سیل می‌شوند، و نیز نوسانات دمایی که باعث بروز موج‌های گرما و یخبندان می‌شوند، بیشترین فشار اقلیمی را بر تولید محصول دارند (Kurukulasuriya & Rosenthal, 2003). در این میان، برخی از

حشرات آفات و عوامل بیماری‌زا احتمالاً تأثیر مثبتی از تغییرات آب و هوایی دریافت کرده، دامنه پراکنش خود را افزایش داده و وارد مناطق جدید می‌شوند (Jabran et al., 2020). طی دهه‌های اخیر، مدل‌های زیست‌اقلیمی مختلفی مانند مدل توزیع گونه‌ها (Species Distribution Models (SDMs)) برای پیش‌بینی پراکنش بالقوه حشرات در شرایط آب و هوایی فعلی و آینده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Acevedo et al., 2010؛ Peterson and Soberón, 2012؛ Aragón and Lobo, 2012 Ecological Niche) مدل‌ها که به مدل‌های نیچ اکولوژیک (Models (ENMs)) نیز معروفند و بیشتر بر متغیرهای زیست‌محیطی از جمله شرایط آب و هوایی متکی هستند (Elith, 2017)، نیازهای اکولوژیک گونه‌ها بر اساس متغیرهای زیست‌محیطی مشخص و مناسب‌ترین مناطق برای حضور و انتشار آن‌ها تعیین می‌شوند (Dormann et al., 2013). Reger (2022) در مطالعه پیش‌بینی پراکنش آفات و بیماری‌های مهم ذرت در آمریکا، پراکنش *Au. gamma* را با استفاده از مدل‌های حداکثر آنتروپی (مدل‌های Maximum Entropy = MaxEnt)، افزایشی تعمیم یافته (Generalized Additive Models = GAM)، درخت‌های رگرسیون تقویت شده (Boosted Regression Trees = BRT)، تلفیق سه مدل با یکدیگر، و CLIMEX ارایه داد؛ اما تاکنون در مورد پیش‌بینی پراکنش *A. segetum* به‌کمک مدل‌های نیچ اکولوژیک، تحقیقی صورت نگرفته است. در سال‌های اخیر، Hayat et al. (2021) و San Bals et al. (2022) به ترتیب مدل‌های پیش‌بینی پراکنش دو گونه *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) را در پاکستان و دنیا و *A. robusta* (Blanchard) را در دنیا بررسی کردند. Hayat et al. (2021) تنها مناطق مناسب برای حضور آفت در شرایط آب و هوایی فعلی و آینده را به‌کمک مدل CLIMEX پیش‌بینی کردند، اما San Bals et al. (2022) به بررسی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در پراکنش گونه *A. robusta* در آمریکای جنوبی پرداخته و برای این منظور از مدل MaxENT استفاده کردند. Falsafi et al. (2022) در تنها تحقیق صورت گرفته در مورد مدل‌های پیش‌بینی پراکنش

گونه‌ها که نشان دهندهٔ پراکنش فعلی آن‌ها در ایران است، به‌کمک نرم‌افزار ArcGIS (Version 10.5) (ESRI, 2016) تهیه شد.

به‌منظور پیش‌بینی الگوهای پراکنش گونه‌ها در شرایط آب و هوایی فعلی، ۱۹ متغیر زیست‌محیطی، ۱۲ متغیر مربوط به سرعت باد، به‌همراه ارتفاع، با وضوح فضایی ۳۰ ثانیه (حدود ۱ کیلومتر) از پایگاه داده‌های WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005) (<https://www.worldclim.org/>) دریافت و پیش‌پردازش شدند. حذف فاکتورهای با همبستگی بالا و تهیهٔ ماتریس ضرایب همبستگی متغیرهای زیست‌محیطی حفظ شده، به‌کمک بسته‌های `sp`، `raster`، `ggplot2`، `lattice` و `caret` در نرم‌افزار R انجام گرفت و مطابق جدول ۱ و شکل ۱، ۱۷ متغیر با Variance Inflation Factor (VIF) کم‌تر از ۱۰ همراه با ارتفاع، به‌عنوان متغیرهای نهایی در نظر گرفته شدند.

پیش‌بینی پراکنش بالقوهٔ دو گونهٔ مورد بررسی به‌کمک نرم‌افزار MaxEnt (version 3.4.1) با آستانهٔ همگرایی 10^{-5} صورت گرفت (Phillips and Dudík, 2008). مدل MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006) یکی از مدل‌های زیست‌خوان محیطی یا اکولوژیک است که در سال ۲۰۰۴ ارائه شده و به‌دلیل داشتن مزایای بسیار، به‌عنوان مدلی مناسب در تخمین پراکنش گونه‌ها مطرح شده است (Phillips *et al.*, 2006). برتری این نرم‌افزار در دقت و صحت، حتی زمانی که تعداد داده‌های حضور گونه کم است، 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).

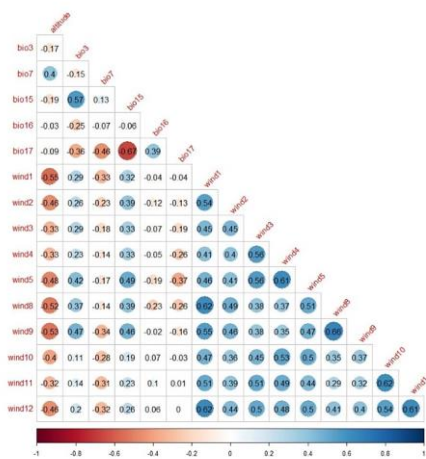
در مدل MaxEnt، با به‌کارگیری عوامل زیست‌محیطی به هر دو صورت پیوسته و گسسته، می‌توان اثرات متقابل متغیرهای مختلف را بر هم منطبق نمود و در نهایت بهترین و مطلوب‌ترین شکل پراکنش احتمالی گونهٔ مورد بررسی را به‌دست آورد (Phillips *et al.*, 2006). در این تحقیق، برای هر گونه ۲۵ درصد دادهٔ تصادفی برای آزمایش در نظر گرفته شد (Phillips, 2010) که از این فرایندها ۱۰۰۰ تکرار انتخاب شدند. آزمون bootstrap

گونه‌های خانوادهٔ Noctuidae در ایران، به بررسی این مدل‌ها در دو گونهٔ آفت متعلق به جنس *Spodoptera* و مشخص کردن عوامل زیست‌محیطی مؤثر بر پراکنش آن‌ها پرداخته‌اند.

در تحقیق حاضر، پراکنش بالقوهٔ *Au. gamma* و *A. segetum* در ایران تحت تأثیر متغیرهای زیست‌محیطی و بر اساس داده‌های صرفاً حضور، به‌کمک نرم‌افزارهای MaxEnt، ArcGIS و R Package در شرایط آب و هوایی فعلی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین مشخص شد کدامیک از متغیرها بیشترین نقش را در انتشار این آفات در مناطق مختلف دارند و نحوهٔ تأثیر آن‌ها چگونه است. مسلماً، مشخص نمودن مناطق مناسب برای حضور این آفات در کشور و مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر انتشار آن‌ها، در تدوین برنامه‌های راهبردی پیش‌گیرانه و کنترل آفات مؤثر خواهد بود.

روش بررسی

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق بیشتر بر پایهٔ نمونه‌های موجود در موزهٔ حشرات هاید میرزاباناس مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور که در طول نزدیک به ۸۰ سال از ایران جمع‌آوری شده‌اند، بودند. داده‌ها پیش از انجام تجزیهٔ آماری تصفیه شدند. برای این منظور از آنجایی که داده‌های زیست‌محیطی برگرفته از سایت WorldClim، از سال ۱۹۷۰ میلادی به بعد هستند، داده‌های مربوط به قبل از سال ۱۹۷۰ و نیز داده‌های تکراری حذف شدند. مختصات جغرافیایی داده‌های دارای اطلاعات مکانی، اما فاقد مختصات جغرافیایی، به‌کمک تارنماهای Google Earth (Gorelick *et al.*, 2020) و Mapcarta (<https://mapcarta.com>) استخراج شدند. برای حذف ناهمگونی (imbalance) داده‌ها و همبستگی فضایی (spatial autocorrelation) ناشی از `sampling bias`، به‌کمک تابع `gridSample` از بستهٔ «dismo» نرم‌افزار R، داده‌های مربوط به حضور نمونه‌های هر دو گونه sub-sample شدند (Kadmon *et al.*, 2004؛ Hijmans *et al.*, 2005؛ Fan *et al.*, 2020). در نهایت برای گونه‌های *Au. gamma* و *A. segetum*، به‌ترتیب ۱۴۱ و ۱۰۸ رکورد حضور نمونه به‌دست آمد. سپس نقشهٔ محل‌های جمع‌آوری



شکل ۱- ضرایب همبستگی متغیرهای زیست‌محیطی حفظ شده برای مدل‌سازی MaxEnt. سایه‌های تیره‌تر آبی و قرمز به ترتیب نشان دهنده مقادیر همبستگی نسبتاً بالای مثبت و منفی هستند، در حالی که سایه‌های روشن‌تر آبی و قرمز به ترتیب مقادیر همبستگی پایین مثبت و منفی را نشان می‌دهند.

Fig. 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.

با $\text{regularization multiplier parameter}$ برابر با ۱ و انتخاب مقادیر ۱۰۰۰۰ برای background انجام گرفت (Phillips, 2010). به منظور تعیین میزان دقت (robustness) نتایج به دست آمده در Maxent، سطح زیر منحنی (Area Under Curve (AUC)) برای Receiver Operating Characteristic (ROC) محاسبه شد (Peterson *et al.*, 2008). مقادیر AUC بین اعداد صفر تا یک است و مدلی مطلوب است که AUC آن بزرگ 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). برای ارزیابی اهمیت متغیرهای زیست‌محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی، آزمون Jackknife مورد استفاده قرار گرفت (García, 2006). برونداد اصلی مدل MaxEnt پیوسته است و از آنجایی که برای مقایسه با داده‌های فقط حضور پیش‌بینی دوتایی مورد نیاز است، حد آستانه مناسبی باید انتخاب شود (Li and Guo, 2013).

جدول ۱- متغیرهای محیطی تأثیرگذار مورد استفاده در نرم‌افزار Maxent برای تعیین مدل پراکنش *Au. gamma* و *A. segetum* و درصد مشارکت آن‌ها.

Table 1. Description of the selected predictor variables used in MaxEnt model for *Au. gamma* and *A. segetum* and their percentage contribution.

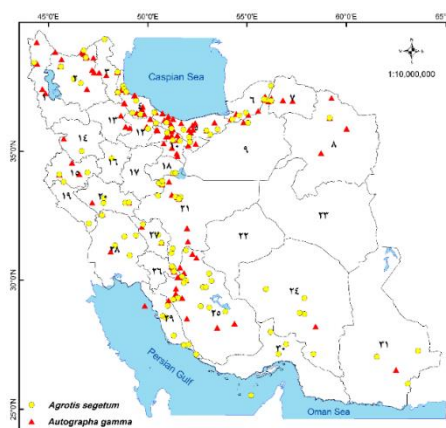
Variable	Abbreviation	Unit	Contribution (%)	
			<i>Autographa gamma</i>	<i>Agrotis segetum</i>
Precipitation seasonality (coefficient of variation)	bio15	-	25.6	3.9
Isothermality (bio2/bio7) ($\times 100$)	bio3	$^{\circ}\text{C}$	18.4	13.4
Precipitation of wettest quarter	bio16	mm	9.2	16.2
Precipitation of driest quarter	bio17	mm	6.9	6.1
Temperature annual range (bio5-bio6)	bio7	$^{\circ}\text{C}$	3.9	6.6
Elevation	altitude	m	4.9	8.4
Average wind speed in August	wind8	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	23.6	19.2
Average wind speed in February	wind2	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	1.9	0.6
Average wind speed in May	wind5	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	1.7	2.5
Average wind speed in January	wind1	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	1.2	8.7
Average wind speed in March	wind3	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	0.7	0.7
Average wind speed in December	wind12	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	0.5	1.1
Average wind speed in November	wind11	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	0.5	5.7
Average wind speed in September	wind9	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	0.5	1.9
Average wind speed in October	wind10	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	0.3	3.6
Average wind speed in April	wind4	$\text{m} \times \text{s}^{-1}$	0.2	1.3

2007) و در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این دیدگاه ضمن صفر در نظر گرفتن خطای حذف (omission) در یک مجموعه داده دسته‌بندی شده (training data set)، کوچک‌ترین نواحی پیش‌بینی شده برای حضور گونه شناسایی می‌شوند (Pearson *et al.*, 2007).

اگرچه، برای داده‌های فقط حضور روش‌هایی کمی ارائه شده‌اند (Li and Peterson *et al.*, 2011; Phillips *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2013; Guo, 2013). برای training sites حداقل مقدار پیش‌بینی شده به‌عنوان حد آستانه در نظر گرفته می‌شود (Phillips *et al.*, 2006) که به آستانه حداقل حضور (Lowest Presence Threshold = LPT) معروف است (Pearson *et al.*,)

نتایج

با استناد به داده‌های موجود، گونه *Au. gamma* در نواحی شمالی، شمال غربی، و قسمت‌هایی از ناحیه جنوب غربی کشور پراکندگی بیشتری دارد که استان‌های گیلان، مازندران، تهران، البرز، گلستان، آذربایجان شرقی و فارس را شامل می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه محل‌های جمع‌آوری نمونه‌های متعلق به دو گونه *Au. gamma* (مثلث قرمز) و *A. segetum* (دایره زرد) در ایران با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS (Version 10.5)، با در نظر گرفتن مرزبندی استان‌ها. 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.

Fig. 2. Collecting data locations of *Au. gamma* (red triangle) and *A. segetum* (yellow circle) specimens in Iran using ArcGIS (Version 10.5), considering outline map of the provinces. 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.

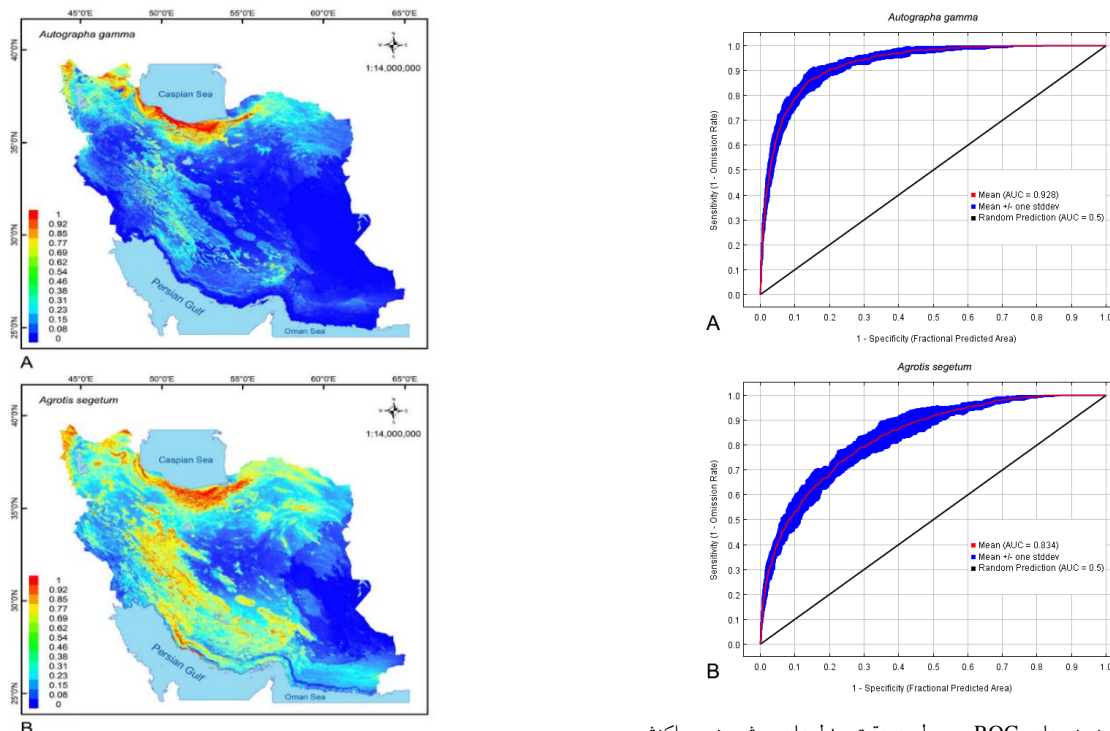
پراکندگی گونه *A. segetum* نیز تقریباً مشابه گونه قبل است، با این تفاوت که در مقایسه با گونه قبل، در استان‌های خوزستان و بوشهر پراکندگی بیشتری دارد (شکل ۲). علاوه بر این، در استان‌های همدان، ایلام، هرمزگان و قم داده‌هایی مبنی بر جمع‌آوری *Au. gamma* وجود نداشت و همین وضعیت در مورد *A. segetum* در استان زنجان وجود داشت. همچنین، نمونه‌برداری‌های انجام شده

در استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و آذربایجان غربی، احتمالاً حاکی از وجود نمونه‌های بیشتری از گونه *Au. gamma* در مقایسه با *A. segetum* در این استان‌ها بود و وضعیت تقریباً برعکس آن را استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان، بوشهر و خوزستان داشتند. نقشه محل‌های جمع‌آوری این دو گونه در ایران (شکل ۲) نشان داد که در استان‌های یزد، خراسان جنوبی، مرکز و جنوب استان سمنان، و شمال استان سیستان و بلوچستان، از هیچ‌یک از این دو گونه نمونه‌ای جمع‌آوری نشده است.

طبق نتایج به‌دست آمده، مقدار متوسط AUC برای *Au. gamma* برابر با ۰/۹۲۸ و برای *A. segetum* برابر با ۰/۸۳۴ بود. به این ترتیب، در هر دو گونه مقادیر متوسط AUC به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از مدل‌های پیش‌بینی تصادفی مربوطه (AUC = 0.5) بودند. منحنی‌های ROC به‌دست آمده در این تحقیق برای هر یک از گونه‌های مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

نتایج نشان داد که سواحل جنوبی دریای خزر و تا حدودی استان‌های تهران، البرز، شمال استان اردبیل، شمال شرقی و برخی از نواحی مرکزی استان آذربایجان شرقی، شمال غربی و غرب استان آذربایجان غربی و جنوب استان گلستان از لحاظ اقلیمی مناسب‌ترین شرایط را برای حضور گونه *Au. gamma* دارند. علاوه بر این، استان خراسان شمالی، شمال استان خراسان رضوی، نواحی محدودی در استان‌های همدان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، و بخش‌های کوچکی از شمال استان هرمزگان و جنوب استان کرمان، می‌توانند تا اندازه‌ای برای حضور این آفت مستعد باشند (شکل ۴- A).

مطابق شکل ۴- B، مناسب‌ترین نواحی برای حضور گونه *A. segetum* تقریباً مشابه با نواحی مناسب برای *Au. gamma* هستند. با این تفاوت که استان بوشهر برای حضور این آفت شرایط مناسبی دارد و در مقایسه با گونه قبل، نواحی وسیع‌تری از استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، خراسان شمالی، خراسان رضوی، سمنان، همدان، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، اصفهان، خوزستان، فارس، هرمزگان و کرمان مناسب حضور *A. segetum* هستند.



شکل ۳- منحنی‌های ROC های مربوط به دقت مدل‌های پیش‌بینی پراکنش ایجاد شده برای *Autographa gamma* (A) و *Agrotis segetum* (B) با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt.

Fig. 3. ROC curve verification of the predicted potential habitat for *Au. gamma* (a) and *A. segetum* (b) using MaxEnt.

شکل ۴- پیش‌بینی پراکنش بالقوه *Au. gamma* (A) و *A. segetum* (B) در ایران 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.

Fig. 4. Predicted Potential Distribution of *Au. gamma* (A) and *A. segetum* (B) in Iran 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.

زمانی که مقدار ضریب تغییرات بارش فصلی از ۳۸-۳۱/۵ باشد، شرایط به تدریج برای حضور آفت افزایش پیدا می‌کند، از ۳۸ تا ۴۰، با شیب بسیار تندی افزایش پیدا می‌کند، اما زمانی که بارش فصلی از این حد بیشتر شد، به تدریج شرایط برای حضور آفت نامساعد می‌شود (شکل ۶- B). همچنین، مطابق شکل (۶- C)، افزایش بارندگی در خشک‌ترین سه ماه سال تأثیر مثبتی روی حضور آفت دارد. نتایج نشان داد که هنگامی که در شهریور ماه سرعت متوسط وزش باد از ۱ تا ۱/۵ متر در ثانیه است، شرایط برای حضور آفت بهتر است، اما با افزایش سرعت باد بیش از این حد، شرایط در منطقه به تدریج نامساعد می‌شود (شکل ۶- D).

نتایج به دست آمده از آزمون Jackknife نشان دادند که متغیرهای زیست‌محیطی مؤثر در پیش‌بینی پتانسیل پراکنش *Au. gamma*، به ترتیب دما، بارش و سرعت باد بودند (شکل ۵- A). هم‌دمایی (Isothermality) یا نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه (bio3)، بیشترین نقش را در میان متغیرهای دمایی، و بارش فصلی (ضریب تغییرات) (bio15) و بارش در خشک‌ترین سه ماه (bio17)، بیشترین اهمیت را در میان متغیرهای مرتبط با بارش داشتند (شکل ۵- A). از میان متغیرهای مربوط به سرعت باد، سرعت متوسط باد در شهریور ماه (wind8)، بیشترین تأثیر را در مدل به دست آمده داشت. با استناد به نتایج به دست آمده، در هنگامی که هم‌دمایی حدود ۲۶ تا ۲۶/۲ درصد و کمتر است، شرایط برای حضور آفت مناسب است، اما افزایش آن از این حد، شرایط را به تدریج نامساعد می‌کند (شکل ۶- A).

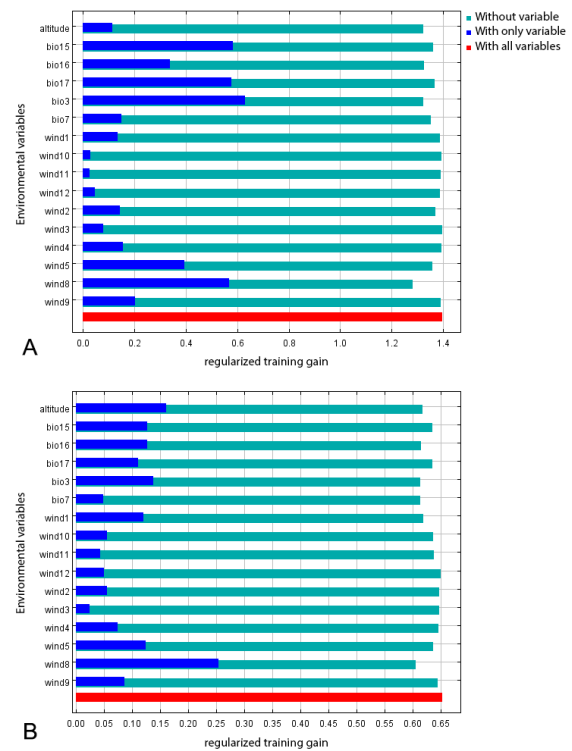
ارتفاعات بالای ۸۵۰ تا نزدیک به ۳۰۰۰ متر می‌تواند بستر مناسبی برای حضور داشته باشد (شکل ۷- B).

هنگامی که نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه حدود ۲۶ تا ۲۶/۲ درصد و کمتر است، شرایط برای حضور آفت مناسب است، اما با افزایش دما از این حد، شرایط به تدریج نامساعد می‌شود (شکل ۷- C). زمانی که ضریب تغییرات بارش فصلی حدود ۴۶/۵-۳۱/۵ است، شرایط با شیب تندی مساعد می‌شود، اما از ۴۶/۵ تا نزدیک به ۱۰۰ شرایط نامساعدی را به وجود می‌آورد (شکل ۷- D). هنگامی که بارش در مرطوب‌ترین سه ماه سال از ۳۳ تا ۱۰۰ میلی‌متر باشد، شرایط با شیب تندی برای آفت مساعد می‌شود، اما بیشتر از این حد تغییری ایجاد نمی‌شود (شکل ۷- E).

بحث

همان‌طور که در قسمت نتایج مشخص شد، بیشتر نواحی مرکزی، شرقی و جنوب شرقی ایران برای حضور و انتشار دو گونه *Au. gamma* و *A. segetum* مناسب نیستند (شکل ۴- A و B). با توجه به پلی‌فاژ بودن هر دو گونه و وابستگی آن‌ها به محصولات کشاورزی، این امر ممکن است تا حد زیادی متأثر از شرایط اقلیمی فلات مرکزی ایران و محدود بودن قابل توجه فعالیت‌های انسانی و کشاورزی در این مناطق باشد. مشابه این وضعیت توسط Falsafi et al. (2022) در مورد گونه پلی‌فاژ *Spodoptera exigua* مشاهده شد. (2016) Mesgaran et al. نشان دادند که نواحی مرکزی، شرقی، و جنوب شرقی ایران با متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۵-۰ میلی‌متر و فصل رشد ۰-۲ ماه، خشک بوده و به لحاظ کمبود منابع آبی و دیگر شرایط اقلیمی، پتانسیل ضعیفی برای کشاورزی دارند.

نتایج نشان داد که در هر دو گونه *Au. gamma* و *A. segetum*، هنگامی که هم‌دمایی حدود ۲۶ تا ۲۶/۲ درصد و کمتر است، شرایط برای حضور آفت مناسب است، بیش از این مقدار شرایط به تدریج نامساعد می‌شود (شکل‌های ۶- A و ۷- C). با استناد به اطلاعات برگرفته از مرکز آمار ایران در سال‌های اخیر و توجه به مقادیر هم‌دمایی مراکز استان‌های گیلان و مازندران



شکل ۵- آزمون Jackknife اهمیت متغیرها برای داده‌های دسته‌بندی شده (training data) در *Au. gamma* (A) و *A. segetum* (B).

Fig. 5. Jackknife test of variable importance for train data in *Au. gamma* (A) and *A. segetum* (B).

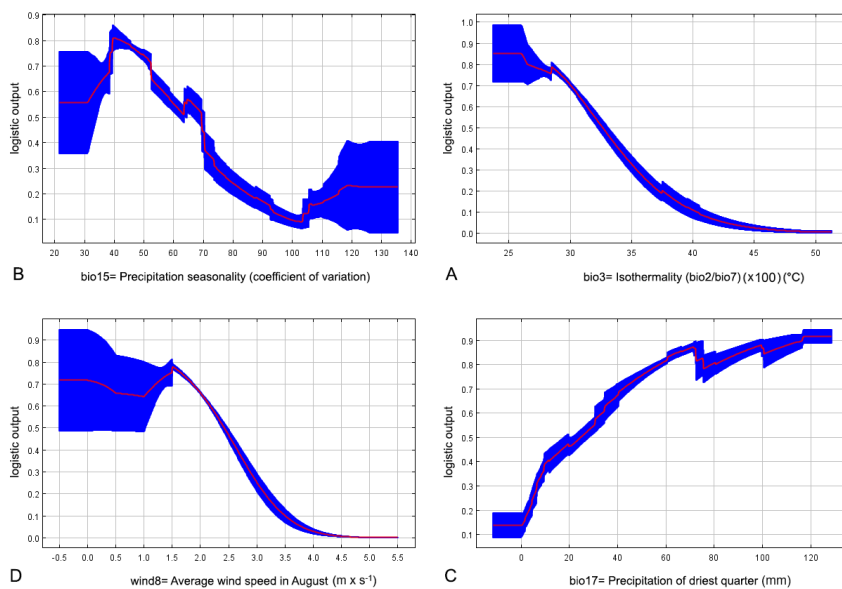
متغیرهای زیست‌محیطی مؤثر بر پراکنش بالقوه *A. segetum*، به ترتیب سرعت باد، ارتفاع، دما و بارش بودند. نتایج نشان داد که هم‌دمایی (bio3) بیشترین نقش را در مقایسه با سایر متغیرهای دمایی، و ضریب تغییرات بارش فصلی (bio15) و بارش در مرطوب‌ترین سه ماه (bio16)، بیشترین اهمیت را در میان متغیرهای مرتبط با بارش داشتند (شکل ۵- B). در میان متغیرهای مربوط به سرعت باد نیز مانند گونه قبل، سرعت متوسط باد در شهریور ماه (wind8)، بیشترین تأثیر را داشت. نتایج نشان داد که افزایش تدریجی سرعت باد در شهریور ماه شرایط را به مرور برای حضور آفت در منطقه نامساعد می‌کند (شکل ۷- A).

افزایش ارتفاع منطقه از صفر تا حدود ۷۵ متر، شرایط بسیار مناسبی را برای انتشار آفت ایجاد می‌کند، اما از حدود ۷۵ تا ۸۵۰ متر، شرایط به تدریج نامساعد می‌شود. اما این گونه در

از فصول بسیار پربارش و برخی دیگر کم‌بارش یا خشک هستند. مطابق اطلاعات به‌دست آمده از مرکز آمار ایران در سال‌های اخیر (۱۳۹۸ و ۱۴۰۱)، کم‌ترین ضریب تغییرات بارش فصلی در سال ۱۳۹۸ به ترتیب متعلق به استان‌های گیلان، گلستان، اردبیل و مازندران (به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۴۴، ۰/۴۶ و ۰/۵ میلی‌متر)، و در سال ۱۴۰۱ متعلق به استان‌های مازندران و گیلان (به ترتیب برابر با ۰/۴۶ و ۰/۵۴ میلی‌متر) است. بنابراین، دو استان گیلان و مازندران طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۱ کم‌ترین ضریب تغییرات بارش فصلی را داشته‌اند (SCI, 2018-2022) و با استناد به شکل ۴- A نیز، مناسب‌ترین اقلیم را برای حضور *Au. gamma* دارند.

در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۱ (گیلان به ترتیب ۱۸/۰۸ و ۲۱/۹۹ درصد؛ مازندران به ترتیب، ۲۵ و ۲۳/۷۴ درصد) (SCI, 2018-2022)، درمی‌یابیم که در مناطق مستعد برای حضور این دو آفت، هم‌دمایی کمتر از ۲۶ درصد است.

با استناد به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، مناطقی که مقدار ضریب تغییرات بارش فصلی آن‌ها از ۳۸-۳۱/۵ است، از شرایط مناسبی برای حضور و انتشار *Au. gamma* برخوردارند و زمانی که این مقدار به بیش از ۴۰ برسد، به تدریج شرایط نامساعد می‌شود. پایین بودن ضریب تغییرات بارش فصلی معرف یکنواخت بودن بارش‌ها در مناطق و برعکس بالا بودن آن، نشان دهنده وجود تنش‌های بارشی است، به طوری که بعضی

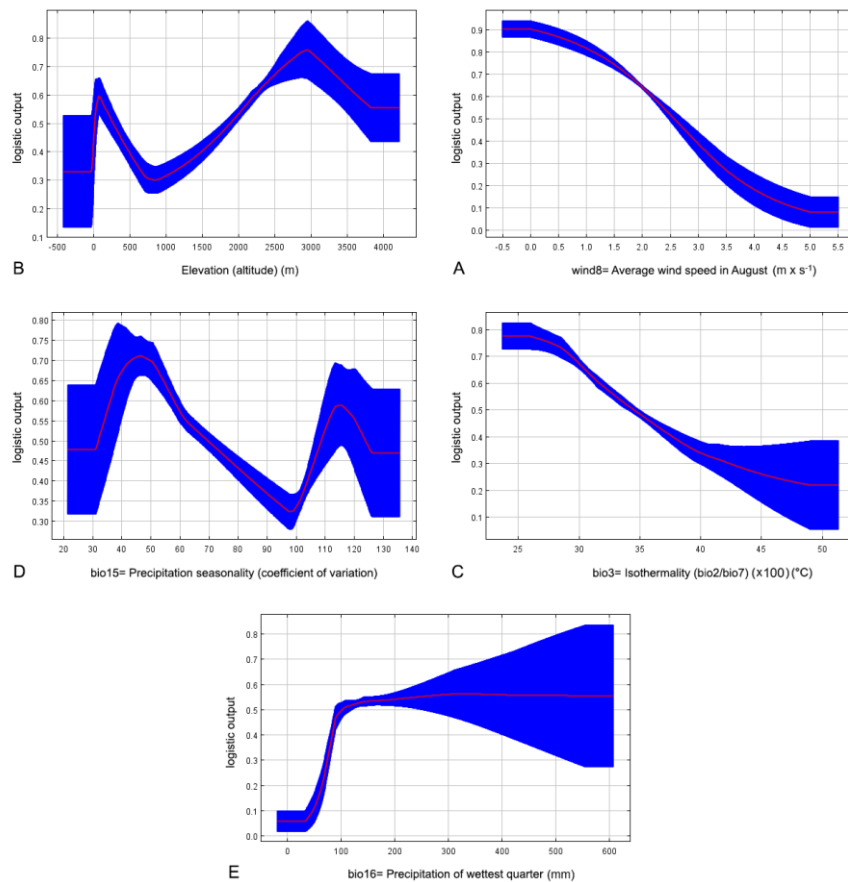


شکل ۶- منحنی واکنش (response curve) بین احتمال حضور و متغیرهای زیست‌محیطی در *Au. gamma* (A هم‌دمایی، با نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه؛ B ضریب تغییرات بارش فصلی؛ C بارش در خشک‌ترین سه ماه؛ D سرعت متوسط باد در شهریور ماه).

Fig. 6. Response curves between the probability of presence and environmental variables in *Au. gamma*. A) Isothermality (bio2/bio7) ($\times 100$); B) Precipitation seasonality (coefficient of variation); C) Precipitation of driest quarter; D) Average wind speed in August.

داد که مرگ و میر *Au. gamma* در مرحله تخم و لارو سن اول در مناطق بسیار مرطوب کم‌ترین مقدار را دارد. علاوه بر این، هجوم انبوهی آفت در دوره‌هایی اتفاق افتاده است که آب و هوا بسیار مرطوب بوده است (Maceljski and Balarin, 1974).

از طرفی، افزایش بارندگی در خشک‌ترین ماه‌های سال تأثیر مثبتی روی حضور شب‌پره گاما دارد. لذا، به نظر می‌رسد که میزان رطوبت در فصل تابستان، در ایجاد شرایط مناسب برای حضور این گونه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. مطالعات انجام شده توسط Maceljski and Balarin (1974) نشان



شکل ۷- منحنی واکنش (response curve) بین احتمال حضور و متغیرهای زیست محیطی در *Agrotis segetum* (A) سرعت متوسط باد در شهریور ماه؛ (B) ارتفاع؛ (C) هم‌دمایی، یا نسبت میانگین دمای روز به محدوده دمای سالیانه؛ (D) ضریب تغییرات بارش فصلی؛ (E) بارش در مرطوب‌ترین سه ماه.

Fig. 7. Response curves between the probability of presence and environmental variables in *A. segetum*. A) Average wind speed in August; B) Elavation; C) Isothermality (bio2/bio7) ($\times 100$); D) Precipitation seasonality (coefficient of variation); E) Precipitation of wettest quarter.

مطابق نتایج به دست آمده، افزایش سرعت باد بیش از ۱/۵ متر در ثانیه در شهریور ماه، به تدریج شرایط را برای حضور آفت در منطقه نامساعد می‌کند (شکل ۶- D). به نظر می‌رسد که این افزایش سرعت باد به مهاجرت جمعیت‌های آفت که برای زمستان‌گذرانی قصد مهاجرت به مناطق گرم‌تر را دارند، کمک می‌کند. *Autographa gamma* گونه‌ای مهاجر است و افراد بالغ آن در فصول سرد معمولاً به مناطق گرم‌تری که در آن قادر به تولیدمثل هستند، مهاجرت می‌کنند (Sullivan and Molet, 2007). این گونه به طور فعال جریان‌های هوایی سریع در ارتفاعات بالا را انتخاب می‌کند که برای جهت دادن به مهاجرت آن در فصل پاییز بسیار سودمند هستند (Chapman et al., 2008). بدیهی است

مطابق شکل ۴- A، دو استان گیلان و مازندران در مقایسه با سایر استان‌ها و حتی استان‌های استان گلستان، اردبیل و البرز، برای حضور این آفت بسیار مناسب تشخیص داده شده‌اند، خشک‌ترین ماه‌های سال در این دو استان خرداد، تیر و مرداد هستند (SCI, 2018–2019, 2021–2022) که تقریباً منطبق با دوره فعالیت افراد بالغ این حشره در ایران (اردیبهشت تا مهر ماه) است (Khanjani, 2013) می‌باشند. در این سه ماه متوسط بارندگی مراکز استان‌های فوق در سال ۱۳۹۸، به ترتیب ۱۸۵ و ۷۶/۲ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱، به ترتیب ۵۶/۷ و ۸۹/۴ میلی‌متر بوده است (SCI, 2018–2019, 2021–2022) و بهترین شرایط را از لحاظ تأمین رطوبت داشته‌اند.

اغلب چغندرکاری‌ها در دشت مغان، مشکین‌شهر و اردبیل هستند (Anonymous, 2021-2022). بنابراین چنانچه چغندرکاری‌ها در بیله‌سوار و اصلاندوز متمرکز باشند، شاید کمتر خسارت ببینند. هر چند که اردبیل جزو استان‌های با تولید بالای این محصول محسوب نمی‌شود (Anonymous, 2021-2022). دو استان خوزستان و کرمانشاه سطح زیرکشت بالایی از چغندر قند دارند، اما از لحاظ اقلیمی برای آفت مناسب نیستند. از آنجایی‌که این آفت در این دو استان سابقه حضور طولانی دارد، ممکن است عوامل دیگری نظیر وجود سایر میزبان‌های گیاهی و حتی میزبان‌های وحشی آفت، در استقرار آن در این استان‌ها نقش داشته باشند.

در مورد کشت پنبه، قسمت‌های شمالی استان فارس و خراسان رضوی و قسمت‌های جنوبی استان گلستان شرایط نسبتاً مناسبی برای حضور آفت دارند. این سه استان سطح زیر کشت بالایی برای پنبه دارند، اما قسمت‌های شمالی‌تر استان گلستان و قسمت‌های جنوبی استان‌های فارس و خراسان رضوی کمتر برای حضور آفت مستعد هستند و ممکن است این امر در ارایه برنامه‌های مدیریتی پنبه دارای اهمیت باشد. همچنین، نتایج نشان داد که با توجه به وجود شرایط بسیار مساعد برای حضور این آفت در استان اردبیل و جنوب استان گلستان، کشت سویا در این مناطق بایستی با بررسی تمامی جنبه‌های مدیریتی کنترل این آفت صورت گیرد. از طرفی با توجه به اینکه دو استان گیلان و مازندران از لحاظ اقلیمی شرایط بسیار مناسبی را برای حضور و استقرار این آفت دارند، بهتر است کشت محصولات استراتژیکی مانند پنبه، چغندر قند و سویا که جزو مهم‌ترین میزبان‌های این آفت در ایران هستند در استان‌های مزبور محدود شود.

طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، برای *A. segetum* افزایش تدریجی سرعت باد در شهریور ماه شرایط را به مرور برای حضور آفت در منطقه نامساعد می‌کند (شکل ۷- A). این گونه نیز مانند گونه قبل دارای رفتار مهاجرتی است. به‌عنوان مثال، (Guo et al., 2015) نشان دادند که این گونه در چین در

با مهاجرت گونه از مناطقی که قبلاً در آن وجود داشته است، جمعیت آفت در مناطق قبلی کاهش پیدا می‌کند و افزایش سرعت باد در شهریور ماه که زمان به پایان رسیدن آخرین نسل آفت است، به این امر کمک زیادی می‌کند.

در مطالعه انجام شده توسط Reger (2022) در ایالات متحده آمریکا که به کمک مدل‌های MaxENT, GAM, BRT و CLIMEX انجام شد، اثرات انسانی و درجه حرارت فصلی، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در پیش‌بینی پراکنش *Au. gamma* معرفی شدند. در تحقیق حاضر عوامل انسانی مورد بررسی قرار نگرفتند. از طرفی، متفاوت بودن مهم‌ترین متغیر دمایی تأثیرگذار در انتشار این آفت در ایران و آمریکا، به لحاظ شرایط اقلیمی متفاوت آن‌ها دور از انتظار نیست.

همان‌گونه که قبلاً نیز به آن اشاره شده است، چغندر قند، پنبه و سویا، از مهم‌ترین محصولاتی هستند که این گونه پلی‌فاژ در ایران به آن‌ها حمله می‌کند (Behdad, 2002). مطابق آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، از لحاظ سطح زیرکشت آبی چغندر قند، استان‌های آذربایجان غربی، خراسان رضوی، خوزستان و کرمانشاه؛ از لحاظ سطح زیرکشت آبی و دیم پنبه، استان‌های خراسان رضوی، گلستان و فارس؛ و از لحاظ سطح زیرکشت آبی و دیم سویا، استان‌های گلستان و اردبیل؛ بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند (Anonymous, 2021-2022). مطابق نقشه پیش‌بینی مدل پراکنش *Au. gamma* (شکل ۴- A)، قسمت‌های شمالی استان‌های خراسان رضوی و آذربایجان غربی برای حضور آفت شرایط نسبتاً مناسبی دارند، بنابراین، با توجه به اینکه نواحی جنوبی و شرقی استان خراسان رضوی و جنوب استان آذربایجان غربی کمتر مستعد هستند، چنانچه چغندرکاری‌ها بیشتر در نواحی کمتر مستعد استان‌ها باشند، ممکن است، خسارت کم‌تری ببینند و این مسئله باید در چغندرکاری‌ها در این مناطق مورد توجه قرار گیرد. طبق نتایج حاصل از این تحقیق، بخش‌هایی از قسمت‌های شمالی استان اردبیل برای حضور آفت مناسبند. سطح زیرکشت چغندر قند در این استان ۲۱۸۸ هکتار است و

ناشی از بیابانی بودن آن‌ها باشد. اما همیشه این‌گونه نیست، و مطابق شکل ۴- B، بسیاری از مناطق مستعد برای حضور آفت، در نوار ساحلی شمالی و جنوبی و نواحی مرزی شمال و شمال غرب کشور قرار دارند که برخی در محدوده ارتفاع ۷۵ تا ۸۵۰ متری واقع شده‌اند. بنابراین، مستعد بودن یک منطقه به حضور این آفت به تلفیقی از مهم‌ترین عوامل مشخص شده در جدول ۱ بستگی دارد که وزش باد و رطوبت در این میان مؤثرترینند.

نتایج نشان داد که در *A. segetum* نیز زمانی که ضریب تغییرات بارش فصلی نسبتاً پایین است، شرایط برای حضور آفت مناسب است، اما افزایش آن باعث نامساعد شدن محیط می‌شود (شکل ۷- D). بنابراین، این گونه مانند گونه قبل به تنش‌های بارشی حساس است. در این گونه نیز استان‌های گیلان و مازندران در سال‌های اخیر (۱۳۹۸ و ۱۴۰۱)، با کم‌ترین مقدار ضریب تغییرات بارش فصلی (-2018، 2019، 2021، SCI, 2022)، مناسب‌ترین شرایط را برای حضور آفت داشته‌اند و نتایج به‌دست آمده (شکل ۴- B) مؤید این امر است.

هنگامی که بارش در مرطوب‌ترین سه ماه سال از ۳۳ تا ۱۰۰ میلی‌متر باشد، شرایط با شیب تنیدی برای آفت مساعد می‌شود، اما بیشتر از این حد تغییری ایجاد نمی‌شود (شکل ۷- E). دما و رطوبت خاک به عنوان دو عامل تأثیرگذار بر نوسانات جمعیت این آفت و خسارت وارده توسط آن محسوب می‌شوند (Moir et al., 2007). مطالعات انجام شده توسط Esbjerg & Sigsgaard (2019) در دانمارک نشان داد در حالی که تخم‌های این آفت اغلب به رطوبت و درجه حرارت‌های مختلف مقاومند، لاروها، به‌ویژه لاروهای سن اول و دوم، آسیب‌پذیرند. لاروهای جوان این آفت دائماً روی برگ‌ها نمی‌مانند، بلکه در بالاترین قسمت خاک مخفی می‌شوند. آن‌ها برای این منظور به خاک خشک نیاز دارند، زیرا شرایط خشک باعث افزایش فعالیت تغذیه‌ای و نمو آن‌ها می‌شود. لاروها در طول روز جستجوهای کوتاهی برای به دست آوردن غذا دارند و در بقیه مواقع در عمق ۳-۱ میلی‌متری خاک به استراحت می‌پردازند. هنگامی که خاک مرطوب باشد این رفتار مختل شده و تعداد دفعات تغذیه

اوایل بهار از جنوب به سمت شمال و در پاییز، از شمال به سمت جنوب مهاجرت می‌کند. در ایران نسل سوم آفت معمولاً در شهریور ماه ظاهر می‌شود (Kheyri, 1966; Asadi et al., 2002). بنابراین، به نظر می‌رسد که افزایش سرعت باد در شهریور ماه که تقریباً نزدیک به پایان دوره فعالیت این آفت و شروع مهاجرت احتمالی پاییزی آن است، به جابه‌جایی آفت از مناطقی که در آن نسل‌های خود را سپری کرده به مناطق جنوبی و گرم‌تر، کمک می‌کند و باعث کاهش جمعیت آفت در مناطقی که قبلاً در آنجا وجود داشته است می‌شود. چراکه این آفت دارای پرواز قوی است و معمولاً برای مهاجرت از جریان‌های باد کمک می‌گیرد، به طوری که در شرایط اروپا می‌تواند چند صد کیلومتر را به کمک باد حرکت کند (Fox, 1973; Kaaber and Andreassen, 1999).

با استناد به نتایج به‌دست آمده (شکل ۷- B)، گونه *A. segetum* در مناطقی با ارتفاع تقریبی ۷۵ متر و کم‌تر، شرایط مناسبی برای انتشار دارد، در محدوده ۷۵ تا ۸۵۰ متر شرایط نامساعد است و ارتفاعات بالای ۸۵۰ تا نزدیک به ۳۰۰۰ متر می‌توانند بستر مناسبی برای حضور آفت داشته باشند. اما ارتفاع به‌تنهایی تعیین‌کننده مستعد بودن یک منطقه برای حضور این آفت نیست و مطابق جدول ۱، چندین عامل مانند وزش باد در شهریور ماه، بارندگی در مرطوب‌ترین سه ماه سال و هم‌دمایی، به ترتیب در مقایسه با میزان ارتفاع منطقه، نقش مؤثرتری دارند. در ایران بسیاری از مناطق با ارتفاع تقریبی ۱۰۰ تا ۹۰۰ متر جزو مناطق بیابانی و خشک محسوب می‌شوند. به‌عنوان مثال، ارتفاع متوسط پست‌ترین قسمت دشت کویر نسبت به سطح آزاد دریا حدود ۷۵۰ متر است (Ghobadian, 1990). همچنین، در کویر لوت که یکی از بزرگترین حوزه‌های فلات داخلی ایران است، حداقل ارتفاع در گودترین نقطه حدود ۱۹۰ متر از سطح دریا است (Azizi et al., 2014) و همان‌گونه که در ابتدای بحث نیز به آن اشاره شد، این نواحی به لحاظ کمبود منابع آبی و دیگر شرایط اقلیمی، پتانسیل ضعیفی برای کشاورزی دارند (Mesgaran et al., 2016). لذا به نظر می‌رسد که مساعد نبودن شرایط برای حضور *A. segetum* در این مناطق

زیر کشت چغندر قند آبی را در سطح کشور داشته‌اند (Anonymous, 2021-2022) که مطابق نقشه پیش‌بینی پراکنش این آفت (شکل ۴- B)، استان آذربایجان غربی (به‌ویژه شمال غربی)، بخش‌هایی از استان خراسان رضوی، و بیشتر نواحی استان فارس برای حضور آفت مساعد تشخیص داده شده و دو استان خوزستان و کرمانشاه مناسب نیستند. با توجه به اینکه این آفت سابقه حضور نسبتاً طولانی در استان‌های خوزستان و کرمانشاه را دارد، ظاهراً در این گونه نیز عواملی به‌غیر از متغیرهای اقلیمی در حضور آفت در این مناطق نقش دارند که به‌نظر می‌رسد از این میان تأثیر عوامل انسانی از طریق انجام فعالیت‌های کشاورزی، بیشترین اهمیت را داشته باشد. به‌عنوان مثال، مطابق آمارنامه کشاورزی محصولات زراعی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، ۱۴۰۰ سطح زیرکشت چغندر قند آبی در دو استان خوزستان و کرمانشاه به‌ترتیب ۱۸۱۱۵ و ۱۷۲۱۸ هکتار است. اما این دو استان از لحاظ سطح زیر کشت یونجه، سیب‌زمینی و گوجه فرنگی که از دیگر میزبان‌های آفت هستند، به‌ترتیب ۱۱۰۹۰، ۱۹۴۵ و ۲۸۷۶ هکتار و ۷۸۹۰، ۴۵۵۱ و ۲۵۰۱ هکتار را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، نوع کشت در منطقه و وجود میزبان‌های اصلی و سایر میزبان‌های آفت در مناطق یاد شده بسیار حائز اهمیت است. مطابق نقشه پیش‌بینی پراکنش *A. segetum* (شکل ۴- B)، استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد از لحاظ اقلیمی برای حضور این آفت مناسب تشخیص داده شده‌اند. سطح زیرکشت چغندر قند در استان چهارمحال و بختیاری ۱۰۸۱ هکتار است و در استان کهگیلویه و بویراحمد کشت نمی‌شود. پنبه نیز در این دو استان کشت نمی‌شود (Anonymous, 2021-2022). به‌عنوان مثال، این احتمال وجود دارد که در صورت کاشت یا افزایش وسعت سطح زیرکشت چغندر قند و یا کشت پنبه در این استان‌ها، با توجه به مستعد بودن منطقه از لحاظ اقلیمی، با افزایش جمعیت آفت در آن‌ها روبرو شویم. لذا، شاید یکی از اقدامات پیش‌گیرانه در استان کهگیلویه و بویراحمد، جلوگیری از افزایش سطح زیر کشت محصول استراتژیک چغندر قند باشد.

آن‌ها کاهش پیدا می‌کند (Esbjerg *et al.*, Esbjerg, 1988, 1990). به‌همین دلیل، تابستان‌های پر باران روی آفت تأثیر منفی دارند و رطوبت زیاد خاک در فصل تابستان موجب افزایش مرگ و میر لاروها می‌شود (Esbjerg, 1988). اما لاروهای سنین پنجم و ششم (در ایران تا پنج سن لاروی (Behdad, 2002))، قادر به تحمل سرما و خاک مرطوب هستند و در داخل ریشه‌ها سوراخ‌های عمیقی ایجاد می‌کنند (Esbjerg, 1989).

در تمام مناطقی که مطابق شکل ۴- B، برای حضور این آفت بسیار مناسب یا نسبتاً مناسب تشخیص داده شده‌اند، مرطوب‌ترین سه ماه سال، مهر تا اواخر آذر ماه هستند (SCI, 2021-2022, 2018-2019) که مقارن با ظهور سنین آخر لاروی و پایان دوره فعالیت آفت است و آفت در این مرحله، قادر به تحمل سرما و خاک مرطوب است (Esbjerg, 1989). بنابراین، مطابق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق؛ افزایش میزان بارندگی در این ماه‌ها (در این تحقیق بیش از ۱۰۰ میلی‌متر)، تأثیری بر جمعیت آفت ندارد.

(San Bals *et al.* (2022) در تحقیقی که درباره مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در انتشار گونه *Agrotis robusta* در آمریکای جنوبی داشتند، ضریب تغییرات درجه حرارت فصلی (Temperature seasonality = bio4)، میانگین درجه حرارت سالیانه (Annual mean temperature = bio1)، میانگین تابش خورشید (Average solar radiation = SRad_Avg) و pH خاک در آب (PHIHOX) را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل معرفی کردند. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر نیز بعد از وزش باد در شهریور ماه، عامل دمایی بیشترین نقش را در مقایسه با سایر متغیرهای اقلیمی در پیش‌بینی پراکنش *A. segetum* دارد (جدول ۱)، ممکن است در پراکنش گونه‌های جنس *Agrotis* نقش عامل دمایی بیشتر از رطوبت محیط باشد.

این آفت در ایران میزبان‌های متعددی دارد که مهم‌ترین آن‌ها چغندر قند و پنبه هستند (Behdad, 2002). همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، استان‌های آذربایجان غربی، خراسان رضوی، خوزستان و کرمانشاه، به‌ترتیب بیشترین مساحت سطح

مناسبی ندارد. در استان خراسان جنوبی که پنبه در مقایسه با چغندر قند سطح زیرکشت بسیار بیشتری دارد (Anonymous, 2021-2022)، آفات دیگری مانند کرم خاردار پنبه، اهمیت بیشتری دارند (Golmohammadi and Mohammadpour, 2020).

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز و مؤسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور برای در اختیار قراردادن امکانات پژوهشی برای انجام این تحقیق قدردانی می‌گردد.

References

- Acevedo, P., Ward, I.A., Real, R., and G.C. Smith. 2010. Assessing biogeographical relationships of ecologically related species using favour ability functions: a case study on British deer. *Diversity and Distributions*. 16: 515-525.
DOI: <http://do.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00662.x>
- Afshar, J, 1936. Les insects nuisibles au cotonnier en Iran, Ministry of Agriculture, Tehran University, 69 pp. (In Persian).
- Anonymous. 2021-2022. Agricultural statistics 2021-2022, crops. Vol. 1. Vice President of Statistics, Center for Statistics, Information and Communication Technology. 103 pp. (In Persian).
- Aragón, P. and J.M. Lobo. 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.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00532.x>
- Azizi, A., Abadi Joo, M.M., and M. Karimi. 2014. The effect of altitudes in the creation of shadow wind deserts (simulation of the effect of Kerman Mountains in the creation of Lut desert). *Journal of Geographical Explorations of Desert Areas*, 5(31), 145-165. (In Persian).
- Behdad, E. 2002. Introductory entomology and important plant pests in Iran. Yadboud Press. 824 pp. (In Persian).
- Carneiro, E. 2022. CABI digital library. *Autographa gamma* (silver-Y moth). CABI Compendium. Available on: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.46179> (Accessed 1 February 2024)
- Chapman, J.W., Reynolds, D.R., Mouritsen, H., Hill, J.K., Riley, J.R., Sivell, D., Smith, A.D. and I.P. Woivod.

همچنین همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، استان‌های خراسان رضوی، گلستان و فارس، به ترتیب بیشترین سطح زیر کشت پنبه آبی و دیم کشور را در مقایسه با دیگر استان‌ها دارند (Anonymous, 2021-2022) که باتوجه به نقشه مدل پیش‌بینی پراکنش *A. segetum* (شکل ۴- B)، شرایط اقلیمی استان‌های گلستان، بخش‌های کوچکی از استان خراسان رضوی و خراسان شمالی و نیز شمال استان فارس که آفت مزبور سابقه طولانی حضور در این نواحی را دارد، برای استقرار آفت مناسب هستند. اما با استناد به شکل ۴- B، استان خراسان جنوبی شرایط اقلیمی

2008. Wind selection and drift compensation optimize migratory pathways in a high-flying moth. *Current Biology*. 18(7): 514-518.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.02.080>

Davachi, A. 1949. Major economic pests of agricultural plants in Iran and their control] [Chemical Institute Publication, Tehran]. 294 pp. (In Persian).

De Meyer, M., Robertson, M.P. and M.W. Mansell. 2010. Ecological niche and potential geographic distribution of the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*. 100(1): 35-48.

DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007485309006713>

Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carr'e, G., García Marqu'ez, J.R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leit'ao, P.J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P.E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A.K., Zurell, D. and S. Lautenbach. 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*. 6(1): 27-46.

DOI: <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. and N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29: 129-151.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>

Elith, J. 2017. Predicting distributions of invasive species. *In*: Robinson, A.P., Walshe, T., Burgman, M., Nunn, M.

- (Eds), Invasive Species: Risk Assessment and Management. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 93-129.
DOI: <https://doi.org/10.1017/9781139019606.006>
- EPPO. 2023. EPPO global pest database. *Agrotis segetum* (AGROSE). Available on: <https://gd.eppo.int/taxon/AGROSE/distribution> (accessed 22 December 2023).
- Esbjerg, P. 1988. Behaviour of 1st- and 2nd-instar cutworms (*Agrotis segetum* Schiff.) (Lep., Noctuidae): the influence of soil moisture. *Journal of Applied Entomology*. 105: 295-302.
- Esbjerg, P. 1990. The significance of shelter for young cutworms (*Agrotis segetum*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 54: 97-100.
- Esbjerg, P. and L. Sigsgaard. 2019. Temperature dependent growth and mortality of *Agrotis segetum*. *Insects*. 10(7): 1-15.
- Esbjerg, P. 1989. The influence of soil moisture on mortality and damaging effect of 2nd to 6th instar cutworms (*Agrotis segetum* Schiff., Lep.: Noctuidae). *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*. 10: 335e347.
- Esbjerg, P., Nielsen, J.K., Philipsen, P., Zethner, O. and L. Øgaard. 1986. Soil moisture as mortality factor for cutworms, *Agrotis segetum* Schiff. (Lep., Noctuidae). *Journal of Applied Entomology*. 102: 277-285.
- ESRI. 2016. ArcGIS 10.5. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Falsafi, H., Alipanah, H., Ostovan, H., Hesami, S.H. and R. Zahiri. 2022. Forecasting the potential distribution of *Spodoptera exigua* and *S. littoralis* (Lepidoptera, Noctuidae) in Iran. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. No. 25(3): 101956.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.101956>
- Fan, S., Chen, C., Zhao, Q., Wei, J. and H. Zhang. 2020. Identifying potentially climatic suitability areas for *Arma custos* (Hemiptera: Pentatomidae) in China under climate change. *Insects* 11, 674.
DOI: <https://doi.org/10.3390/insects111100674>
- Fox, K.J. 1973. Trans-oceanic dispersal of insects to New Zealand. *New Zealand Entomologist*. 5: 240-243.
- 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.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.030>.
- Ghobadian A.A. 1990. Natural landscape of Iranian Plateau. Shahid Bahonar University of Kerman Publication, Kerman, 480 p. (In Persian).
- Golmohammadi, G. and K. Mohammadpour. 2020. Management of *Earias insulana* Bosid. on Cotton. Applied Instruction, Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, 19 p. (In Persian).
- 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.
- Guo, J., Fu, X., Wu, X., Zhao, X. and K. Wu. 2015. Annual Migration of *Agrotis segetum* (Lepidoptera: Noctuidae): Observed on a Small Isolated Island in Northern China. *PLoS ONE*. 10(6): e0131639.
DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0131639>
- Hayat, U., Qin, H., Zhao, J., Akram, M., Shi, J. and Z. Ya. 2021. Variation in the potential distribution of *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) globally and in Pakistan under current and future climatic conditions. *Plant protection science*. 57: 148-158.
- Hernandez, P.A., Graham, C.H., Master, L.L. and D.L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*. 29: 773-785.
DOI: <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. and B.E. Young. 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation* 17: 1353-1366.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s10531-007-9314-z>
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25(15): 1965-1978.
DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Jabran, K., Florentine, S. and S. Chauhan. 2020. Impacts of climate change on weeds, insect pests, plant diseases and crop yields: Synthesis. In: *Crop protection under changing climate*. Cham. Springer p. 189-195.
DOI: 10.1007/978-3-030-46111-9_8
- Kaaber, S. & S. Andreassen. 1999. Notes on two migrant moths from the Faroe Islands, *Agrotis segetum* (L.) and *Noctua orbona* (Hfn.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Frodskaparrit*. 47: 159-168.
- 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.
DOI: <https://doi.org/10.1890/02-5364>
- Khanjani, M. 2013. *Field Crop Pests in Iran (Insects & Mites)*. 6th edition. Bu-Ali Sina University Press, 720 pp. (In Persian).

- Kheyri, M. 1966. The most important pest of sugar beet in Iran and their control. Sugar Beet Seed institute Journal. Karaj, Alborz, Iran. 68 pp. (In Persian).
- Kurukulasuriya, P. and S. Rosenthal. 2003. Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations. Paper No. 91 in Climate Change Series, Agriculture and Rural Development Department and Environment Department, World Bank, Washington, DC.
- Larson, S.R., DeGroot, J.P., Bartholomay, L.C. and R. Sugumaran. 2010. Ecological niche modeling of potential West Nile virus vector mosquito species in Iowa. *Journal of Insect Science*. 10: 1-17.
DOI: <https://doi.org/10.1673/031.010.11001>
- Li, W. and Q. Guo. 2013. How to assess the prediction accuracy of Species presence-absence models without absence data? *Ecography*. 36(7): 788-799.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07585.x>
- Liu, C., White, M. and G. Newell. 2013. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *J. Biogeogr.* 40(4): 778-789.
- Maceljski M. and I. Balarin. 1974. Factors influencing the population density of the looper *Autographa gamma* L. in Yugoslavia. *Acta Entomologica Jugoslavica*. 10: 63-76.
- Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H. and P. Azadi. 2016. Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran, working paper 2, stanford Iran 2040 project. Stanford University
<https://purl.stanford.edu/vf990qz0340>
- Moir, M., Szito, A., Botha, J.H. and M. Grimm. 2007. Turnip moth, *Agrotis segetum* Denis & Schiffermüller 1775 (Lepidoptera: Noctuidae) Pest Datasheet/Pest Risk review for the Grains Industry. Department of Agriculture and Food, Government of Western Australia November, 2007.
- Peterson, A.T. and J. Soberón. 2012. Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right. *Natureza & Conservação*. 10(2): 1-6.
DOI: <http://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>
- Peterson, A.T., Papes, M. and J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*. 213(1): 63-72.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
- Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, A.J., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E. and M. Nakamura. 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. and R.E Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190(3): 231-259.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
- Phillips, S.J. and M. Dudík. 2008. Modeling of Species Distributions with MaxEnt: New Extensions and a Comprehensive Evaluation. *Ecography*. 31: 161-175.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>.
- 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.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9313-3>
- San Bals, G., Obholz, G., Dias, F.M.S., Specht, A., Martins Casagrande, M. and O.H. Hendrik Mielke. 2022. Global Potential Distribution of the South American Cutworm Pest *Agrotis robusta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*. 51: 188-198.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00930-x>
- SCI. 2018-2019. Iran statistic yearbook, 1. Land and climate. Available on: <https://www.amar.org.ir/english/Iran-Statistical-Yearbook/Statistical-Yearbook-2018-2019>. 88 pp. (Accessed September 2022).
- SCI. 2021-2022. Iran statistic yearbook, 1. Land and climate. Available on: <https://www.amar.org.ir/english/Iran-Statistical-Yearbook/Statistical-Yearbook-2021-2022>. 86 pp. (Accessed September 2022).
- Shenasi, H. 1973. Biological research and control of most important pest of fodder plant in Guilan province. Vol 1. Lepidoptera. Sefidroud Agriculture and Animal husbandry institute, Rasht, 74 pp. [in Persian].
- Sullivan, M. and T. Molet. 2007. CPHST Pest Datasheet for *Autographa gamma*. USDA-APHIS-PPQ-CPHST. Revised January 2014.
- Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*. 240: 1285-1293.
- 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.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60006-1](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60006-1)