

Original Article



Modeling the Spatial Distribution of the Vectors of Dengue Fever in Iran using the Maximum Entropy Model and Genetic Algorithm

Sajjad Haghi¹, Mohammad Karimi^{2*}, Ahmad Ali Hanafi-Bojd³

Affiliation

1. Msc, Department of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
2. Associate Prof, Department of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
3. Prof, Department of Vector Biology & Control of Diseases, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ABSTRACT

Introduction: Dengue fever is a contagious viral disease transmitted by two species of mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*, which is spreading rapidly worldwide. The increase in global temperatures, climate change, rainfall patterns, and urbanization have significantly influenced the distribution of these species, creating new areas for their presence. Iran is considered vulnerable to these species, making it essential to determine their potential distribution ranges to implement effective population control programs. Habitat suitability models, which are algorithmic models, predict suitable spatial distributions for species establishment. The main objective of this study is to model the spatial distribution of dengue fever vectors in Iran using available global and Asian-level data due to the lack of sufficient local data on vectors. The study innovatively utilizes heterogeneity layers as an auxiliary factor for analyzing presence points and reducing spatial autocorrelation. It also compares two species distribution models based on presence data to select the optimal modeling approach.

Materials and Methods: The models used in this study include the Maximum Entropy (MaxEnt) method and a genetic algorithm called GARP. These models can detect non-linear and influential relationships between species and environmental variables to develop prediction models. Necessary information layers include species presence points and independent environmental variable layers. 2,780 presence points were collected from various databases for both species (1,926 for *Aedes aegypti* and 854 for *Aedes albopictus*). To reduce spatial autocorrelation among dengue fever vector presence data, a heterogeneity layer of topography was created using the SDM toolbox in ArcGIS, removing points with similar elevation conditions from the modeling process. Principal Component Analysis (PCA) in ArcGIS was used to assess the correlation between biological variables, with variables showing correlations above 0.75 being excluded from the analysis. Population density, climate, vegetation cover density, elevation, and soil organic carbon variables were considered and incorporated into the model. Finally, habitat suitability was modeled globally with a spatial resolution of 5 kilometers for both species using the MaxEnt method and GARP.

Results and Discussion: The area under the curve (AUC) values were calculated at 0.942 and 0.948 for *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus*, respectively. The research results showed that the northern and southern provinces of Iran have higher habitat suitability for both species. However, *Ae. aegypti* has a higher distribution probability in the southern parts towards the east along the Omani seashore. In the implementation of the MaxEnt method for *Ae. albopictus*, the provinces in the west of Iran were also determined as favorable, although this was not correctly modeled on a smaller scale. In February 2019, a small number of eggs and adults of *Ae. aegypti* were discovered in Bandar-e-Lengeh city, which was exactly predicted by this research.

Conclusion: The results of this study can be used in planning to manage the population of these vector insects and control the disease while monitoring the populations during epidemic seasons.

Keywords: Dengue fever, Spatial distribution, *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, Maximum entropy model, Iran

Citation: Haghi, S., Karimi, M., Hanafi-Bojd, A.A., Modeling the Spatial Distribution of the Vectors of Dengue Fever in Iran using the Maximum Entropy Model and Genetic Algorithm, Iran J Remote Sens GIS. 16(3):69-70.





مدل سازی توزیع مکانی ناقلین بیماری تب دانگ در ایران با استفاده از مدل آنتروپی بیشینه و الگوریتم ژنتیک

سجاد حق^۱، محمد کریمی^{۲*}، احمدعلی حنفي بجد^۳

سمت

۱. کارشناس ارشد سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۳. استاد گروه بیولوژی و کنترل ناقلین بیماری‌ها، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی و درمانی تهران، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: تب دانگ، یکی از بیماری‌های واگیر و ویروسی است که از طریق دو گونه پشه آندس اجیپتی و پشه آندس آلبویکتوس منتقل می‌شود و به سرعت در جهان در حال گسترش است. افزایش دمای کره زمین، تغییرات اقلیمی و الگوی بارندگی و نیز گسترش شهرنشینی در اغلب نقاط دنیا بر گستره انتشار گونه‌های مذکور مؤثر بوده و باعث گسترش مناطقی جدید برای حضور این گونه‌ها شده است. این در حالی است که بخشی از کشور ایران در برابر این گونه و حضور آن آسیب‌پذیر تلقی شده و لازم است گستره انتشار احتمالی آن برای اجرای برنامه کنترل جمعیت این گونه مشخص شود. مدل‌های مطلوبیت زیستگاه مجموعه‌ای از مدل‌های الگوریتم مینا هستند که قادرند پراکنش مکانی برای استقرار انواع گونه‌ها را پیش‌بینی کنند. هدف اصلی این پژوهش مدل‌سازی توزیع مکانی ناقلین این بیماری در ایران است که با توجه به نبود داده‌های ناقلین کافی در کشور، از داده‌های ناقلین موجود در سطح جهان و همچنین در سطح قاره آسیا، در دو مقیاس مختلف استفاده شد. از مهم‌ترین جنبه‌های نوآوری این پژوهش می‌توان به استفاده از لایه هتروژنتی به‌عنوان یک عامل کمکی برای تحلیل نقاط حضور و کاهش خودهمبستگی مکانی و به‌کارگیری و مقایسه دو مدل پراکنش گونه متکی به داده‌های حضور برای انتخاب روش مدل‌سازی بهینه اشاره کرد.

مواد و روش‌ها: مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل روش آنتروپی بیشینه (MaxEnt) و یک نوع الگوریتم ژنتیک تحت عنوان گارپ (GARP) هستند. این مدل‌ها می‌توانند ارتباطات غیرخطی و اثرگذار بین گونه‌ها و متغیرهای محیطی را تشخیص دهند و آن‌ها را برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی به کار گیرند. همچنین لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز شامل لایه نقاط حضور گونه‌ها و لایه‌های متغیرهای مستقل زیست‌محیطی هستند. در مجموع ۲۷۸۰ نقطه حضور برای هر دو گونه (۱۹۲۶: گونه آندس اجیپتی و ۸۵۴: گونه آندس آلبویکتوس) با مراجعه به پایگاه‌های اطلاعاتی مختلف جمع‌آوری شد. به‌منظور کاهش خودهمبستگی مکانی بین داده‌های نقاط حضور ناقلین تب دانگ، لایه هتروژنتی توپوگرافی با استفاده از SDM toolbox در ArcGIS ساخته شد و نقاطی که از نظر ارتفاع دارای شرایط یکسانی هستند از فرایند مدل‌سازی حذف شدند. به‌منظور بررسی میزان همبستگی متغیرهای زیستی از تابع PCA در ArcGIS استفاده شد و متغیرهایی که میزان همبستگی بین آنها بالای ۰/۷۵ بود، از تحلیل حذف و متغیرهای تراکم جمعیت، اقلیم، تراکم پوشش گیاهی، ارتفاع و کربن آلی خاک لحاظ وارد مدل شدند. در نهایت با استفاده از روش آنتروپی بیشینه (MaxEnt) و یک نوع الگوریتم ژنتیک تحت عنوان گارپ (GARP) میزان مطلوبیت زیستگاهی در سطح جهان با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر برای هر دو گونه مدل‌سازی شد. با توجه به دقت بالای روش MaxEnt، با استفاده از این روش، مطلوبیت زیستگاهی قاره آسیا با قدرت تفکیک ۹۰۰ متر برای هر دو گونه مدل‌سازی شد.

نتایج و بحث: مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) برای گونه آندس اجیپتی ۰/۹۴۲ و برای گونه آندس آلبویکتوس ۰/۹۴۸ محاسبه شد. نتایج پژوهش نشان داد که استان‌های شمالی و جنوبی کشور مطلوبیت زیستگاهی بالاتری را برای هر دو گونه دارند، با این تفاوت که گونه آندس اجیپتی در قسمت‌های جنوبی به سمت شرق در حاشیه دریایی عمان دارای احتمال پراکندگی بالاتری است. در پیاده‌سازی روش MaxEnt برای گونه آندس آلبویکتوس، استان‌های موجود در غرب ایران نیز مطلوب تعیین شدند که این مهم در مقیاس کوچک‌تر به‌صورت درست مدل‌سازی نشده بود. در بهمن ۱۳۹۹ متأسفانه تعداد کمی پشه و تخم پشه آندس اجیپتی در شهرستان بندر لنگه کشف شد که دقیقاً این پژوهش آن را پیش‌بینی کرده بود.

نتیجه‌گیری: از نتایج این مطالعه می‌توان در راستای برنامه‌ریزی برای مدیریت جمعیت این حشرات ناقل برای کنترل بیماری هم‌زمان با پایش جمعیت‌ها در فصول آلودگی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تب دانگ، توزیع مکانی، پشه آندس اجیپتی، پشه آندس آلبویکتوس، مدل آنتروپی بیشینه، ایران.

استناد: حق، س.، کریمی، م.، حنفي بجد، ا.ع.، مدل‌سازی توزیع مکانی ناقلین بیماری تب دانگ در ایران با استفاده از مدل آنتروپی بیشینه و الگوریتم ژنتیک، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳: ۶۹-۹۰.



۱- مقدمه

تب دانگ^۱ یا تب استخوان‌شکن یک بیماری ویروسی است که به‌وسیله پشه‌ها^۲ منتقل می‌شود. این بیماری از سالیان گذشته در آمریکای جنوبی و آسیای جنوب شرقی پراکنش دارد و در برخی فصل‌ها، اپیدمی محدودی در این مناطق رخ می‌دهد (Khoobdel et al., 2016). میزان بروز تب دانگ در سال‌ها و دهه‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. هر سال، ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون عفونت تب دانگ در جهان رخ می‌دهد (Gubler, 2002). بیش از ۷۵ درصد افراد در معرض خطر در منطقه آسیا و غرب اقیانوس آرام زندگی می‌کنند (WHO, 2013). دو گونه پشه^۳ آئدس اجیپتی^۳ و آئدس آلبوپیکتوس^۴ (Reinert et al., 2009) حاوی چندین آریووپروس هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به تب دانگ (Simmons et al., 2012) عفونت چیکونگونیا^۵ (Leparc- (Jentes et al., 2010) و تب زرد (Goffart et al., 2014) اشاره کرد. افزایش دمای کره زمین، تغییرات اقلیمی و الگوی بارندگی و نیز گسترش شهرنشینی در اغلب نقاط دنیا بر گستره انتشار گونه‌های مذکور مؤثر بوده و باعث گسترش مناطقی جدید برای حضور این گونه‌ها شده است (Khoobdel et al., 2016). در طول ۳۰ سال گذشته گستره انتشار گونه آئدس آلبوپیکتوس ۴۰ درصد در خشکی‌ها افزایش داشته است (Tatem et al., 2006). این در حالی است که بخشی از کشور ایران در برابر این گونه و حضور آن آسیب‌پذیر تلقی شده (Khoobdel et al., 2016) و لازم است گستره انتشار احتمالی آن برای اجرای برنامه کنترل جمعیت این گونه مشخص شود.

مدل‌های مطلوبیت زیستگاه (HSMs)^۶ مجموعه‌ای از مدل‌های الگوریتم مبنای هستند که روابط بین مناطق حضور گونه را با مجموعه شرایط محیطی کمی می‌کنند (Elith and Leathwick, 2009). این مدل‌ها می‌توانند پراکنش مکانی محیط‌هایی را که در یک محدوده جغرافیایی برای استقرار گونه‌ها مناسب‌اند، برآورد کنند و با کمی کردن ارتباط بین پراکنش گونه‌ها و

متغیرهای محیطی تأثیرگذار پایه و اساس تصمیم آگاهانه در مدیریت بهینه در یک منطقه باشند (Piri Sahragard, 2022).

پژوهشگران مطالعات مختلفی درباره بررسی گستره توزیع بیماری‌ها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های مطلوبیت زیستگاه انجام داده‌اند؛ مدل‌سازی توزیع مکانی بالقوه گونه‌های پشه در کشور هلند با استفاده از سه مدل جنگل تصادفی^۷، مدل خطی تعمیم‌یافته^۸ و تحلیل تشخیصی غیرخطی^۹ انجام شده است (Cianci et al., 2015). در این پژوهش نتیجه‌گیری شد که مدل جنگل تصادفی توانایی طبقه‌بندی خوبی را نشان داده است. در یک پژوهش فراوانی جنس ماده گونه آئدس آلبوپیکتوس در سطح کشور ایتالیا بررسی شده است (Baldacchino et al., 2017). در این مطالعه از رویکرد تلفیق داده‌های حاصل از نمونه‌برداری و سنجش‌ازدور برای تخمین اندازه جمعیت استفاده شد که نتایج نشان داد مناطقی با تراکم جمعیت بالا، شهرها و مناطقی با دمای بالا در فصل تابستان بیشترین اندازه جمعیت این گونه را دارند. توزیع مکانی ناقل پشه آئدس اجیپتی در محدوده شهر کورودوبای آرژانتین و با هدف شناسایی عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و جمعیتی با استفاده از MaxEnt مدل‌سازی شده است (Estallo et al., 2018). از داده‌های مورد استفاده در این مطالعه می‌توان به محل‌های حضور آئدس اجیپتی، NDVI، کانال‌های آب در سطح شهر، انبارهای قطار، مکان‌های ذخیره‌سازی لاستیک‌ها، خیابان‌ها و تراکم جمعیت اشاره کرد. در پژوهشی دیگر، با هدف بررسی الگوهای مکانی تب دانگ در پنج منطقه شهر گوانزو در کشور

1. Dengue fever
2. Mosquitoes
3. *Aedes aegypti*
4. *Aedes albopictus*
5. Chikungunya
6. Habitat Suitability Models
7. Random Forest
8. Generalised Linear Model
9. Non - Linear Discriminant Analysis

مختلف درباره تب دانگ، تاکنون هیچ مطالعه‌ای بر روی ارزیابی پتانسیل توزیع گونه‌های بیماری‌زای تب دانگ در ایران انجام نگرفته است. در مطالعات بررسی شده، به مسائلی مانند مقیاس مکانی و تعداد داده‌های آموزشی کمتر پرداخته شده است. در این پژوهش با توجه به نبود داده‌های ناقلین کافی در کشور، از داده‌های ناقلین موجود در سطح جهان برای شناسایی مناطق مستعد حضور جمعیت‌های دو گونه ناقل تب دانگ در جهان و بررسی توزیع مکانی آن در ایران استفاده شد. در این راستا، کارایی روش‌های آنتروپی بیشینه (MaxEnt) و یک نوع الگوریتم ژنتیک تحت عنوان GARP به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاهی در سطح جهان با قدرت تفکیک ۵ کیلومتر برای هر دو گونه ارزیابی شد. سپس به‌منظور بررسی نقش قدرت تفکیک مکانی در تولید نقشه پتانسیل بیماری تب دانگ در ایران، با استفاده از روش MaxEnt مطلوبیت زیستگاهی قاره آسیا با قدرت تفکیک ۹۰۰ متر برای هر دو گونه مدل‌سازی شد. استفاده از لایه هتروژنتی به‌عنوان یک عامل کمکی برای تحلیل نقاط حضور و کاهش خودهمبستگی مکانی از دیگر نوآوری‌های این پژوهش است.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش مشخصات لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز شامل لایه نقاط حضور گونه‌ها و لایه‌های متغیرهای مستقل زیست‌محیطی و همچنین کلیات مدل‌های به‌کاررفته در پژوهش تشریح می‌شوند.

۲-۱- محدوده مورد مطالعه و نقاط حضور

نقاط ثبت‌شده مربوط به رخداد گونه‌های این مطالعه که با رجوع به پایگاه‌های اطلاعاتی مختلف جمع‌آوری شد، شامل مطالعات زیر است:

(Benallal et al., 2016; Bennouna et al., 2017; Doosti et al., 2016; Khan et al., 2016; Seidahmed et al., 2012; Zayed et al., 2012; Khan et al., 2017; Ayorinde et al., 2015; Dia et al., 2012);

چین، از روش رگرسیون کمترین مربعات معمولی استفاده شده است (Yue et al., 2018). نتایج میانگین نزدیک‌ترین همسایه و همبستگی مکانی (جهانی موران) نشان دادند که موارد تب دانگ در منطقه مورد مطالعه به‌صورت خوشه‌ای هستند. پژوهشی با عنوان مدل‌سازی مکانی- زمانی بروز تب دانگ در ۱۲ ایالت مالزی انجام شده است (Che-Him et al., 2018). در این پژوهش، با استفاده از هر دو عوامل اقلیمی و غیراقلیمی یک چارچوب مدل جمعی تعمیم‌یافته^۱ برای خطر ابتلا به بیماری تب دانگ در مالزی پیشنهاد می‌شود. در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی زمین‌آمار بیماری تب دانگ در لاهور پاکستان، به بررسی ارتباط بروز تب دانگ با متغیرهای آب‌وهوایی و جمعیتی پرداخته شده است. در این پژوهش نتیجه‌گیری شده است که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی مناسب‌تر بوده است (Bilal et al., 2019). الگوی توزیع مکانی بیماری تب دانگ در منطقه سرمبان در کشور مالزی و با به‌کارگیری روش میانگین نزدیک‌ترین همسایه مدل‌سازی شده است (Abd Majid et al., 2018). تناسب زیست محیطی پشه‌های آندس اجیتی و آندس آلبویکتوس در کشور مکزیک و با به‌کارگیری روش MaxEnt مدل‌سازی شده است (Lubinda et al., 2019). در تحقیقی دیگر توزیع جغرافیایی تب دانگ با مدل‌سازی متغیرهای محیطی در کلان‌شهر سائوپائولو انجام شناسایی شده است (Gallo et al., 2020). در این مطالعه، حدود ۷۵۴۰ مورد تب‌دانگ را ثبت کرده‌اند. با توجه به این وضعیت، کار پیش‌بینی توزیع جغرافیایی این بیماری با استفاده از سوابق وقوع تب‌دانگ و متغیرهای محیطی از طریق مدل‌سازی توزیع MaxEnt بررسی شد. توزیع مکانی ناقلین بیماری تب دانگ و تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر روی گسترش این بیماری در هند بررسی شده است (Hussain and Dhiman, 2022). با استفاده از مدل MaxEnt بیشترین مدل پراکنش گونه‌ای در جنوب یافت شده است. با وجود مطالعات مختلف پژوهشگران در کشورهای

1. Generalised Additive Model (GAM)

۵۰ کیلومتری از فرایند مدل‌سازی حذف شدند. شکل ۱ نقشه توزیع مکانی این دو گونه را نشان می‌دهد.

۲-۲- ناقلین و متغیرهای زیستگاهی آنها

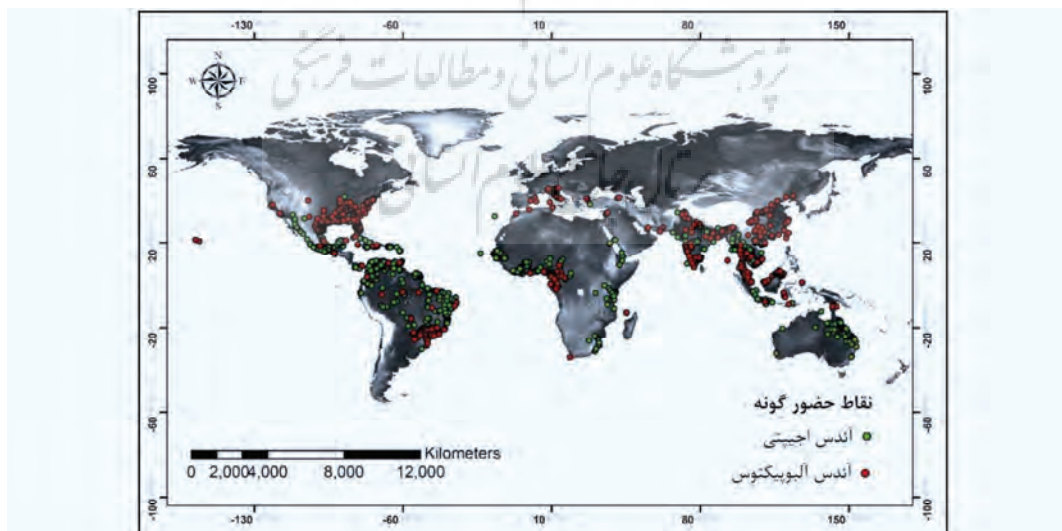
سالانه ۲ تا ۳ میلیون نفر در سراسر جهان توسط گزش پشه‌ها جان خود را از دست می‌دهند. در این میان پشه‌های جنس آندس از نظر انتقال بیماری‌های عفونی نوپدید مثل تب دانگ اهمیت زیادی دارند. مهم‌ترین پشه‌های آندس، گونه‌های آندس اجیپتی و آندس آلبوپیکتوس هستند. منشأ پشه آندس اجیپتی که به آن «پشه تب زرد» نیز گفته می‌شود، قاره آفریقا بوده است. خاستگاه پشه آندس آلبوپیکتوس که به «پشه ببر آسیایی» نیز معروف است، آسیاست. در حال حاضر این دو نوع پشه در تمام کشورهای پنج قاره وجود دارد (Salehi Vaziri et al., 2018).

گونه آندس اجیپتی در مناطق شهری زندگی می‌کنند و گزش، محل استراحت و تخم‌گذاری آن در داخل و خارج اماکن مسکونی است. این گونه عمدتاً در ظرفی که توسط انسان ساخته شده، در داخل یا نزدیک اماکن مسکونی تخم‌گذاری می‌کند.

Kamgang et al., 2011; Suzuki et al., 2016; Oduola et al., 2016; Ryan et al., 2018; Francis et al., 2017; Alvarez et al., 2015; Goindin et al., 2017; Hamid et al., 2017; Sayono et al., 2016; Rosilawati et al., 2017; Chin et al., 2017; Lau et al., 2015; Bilal et al., 2017; Koou et al., 2014a; Koou et al., 2014b; Ponlawat et al., 2005; Chuaycharoensuk et al., 2011; Chareonviriyaphap et al., 2013; Endersby-Harshman et al., 2017; Trewin et al., 2017; Bengoa et al., 2017; Moyes et al., 2017; Paupy et al., 2010; Simard et al., 2005; Akner et al., 2019; Getachew et al., 2015; Bouattour et al., 2019; Kutateladze et al., 2016; Mubbashir et al., 2018; Dorzaban et al., 2020; Kraemer et al., 2015)

در طول این فرایند در مجموع ۲۷۸۰ نقطه حضور برای هر دو گونه جمع‌آوری شدند. از این تعداد نقاط حضور، ۱۹۲۶ نقطه مربوط به گونه آندس اجیپتی و ۸۵۴ نقطه مربوط به گونه آندس آلبوپیکتوس است.

به منظور کاهش خودهمبستگی مکانی بین داده‌های نقاط حضور ناقلین تب دانگ، لایه هتروژنتی توپوگرافی با استفاده از SDM toolbox در ArcGIS 10.1.4 ساخته شد، به این مفهوم که نقاطی که در ارتفاع‌های متفاوت‌تری هستند باید در مدل‌سازی حضور داشته باشند و نقاطی که از نظر ارتفاع دارای شرایط یکسانی هستند با در نظر گرفتن توزیع مناسب شعاع



شکل ۱. نقشه توزیع مکانی نقاط حضور برای هر دو گونه پشه آندس اجیپتی و آندس آلبوپیکتوس

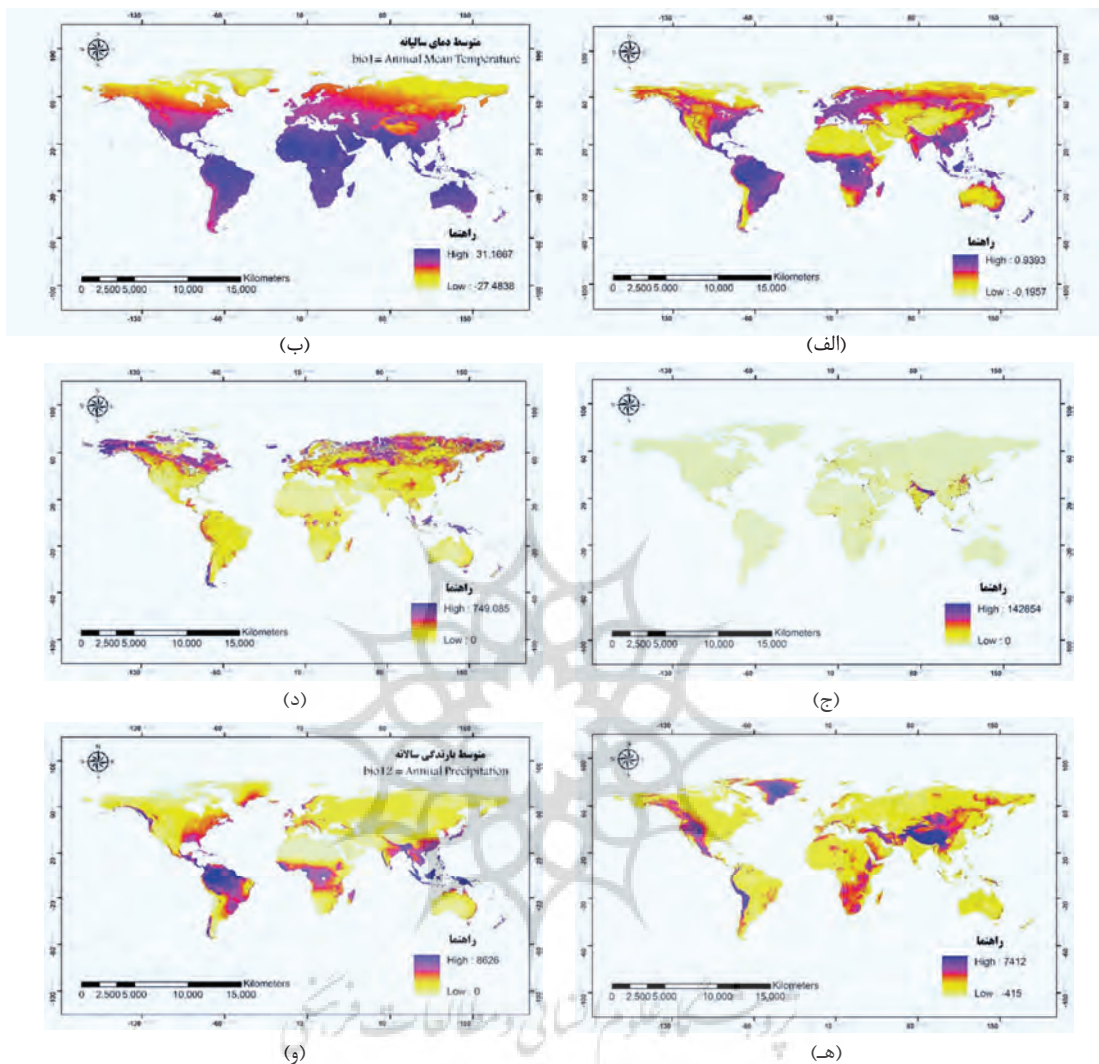
این بیماری مؤثر بوده است، لذا در این مطالعه از متغیرهای اقلیمی (۱۹ بیوم) با استفاده از پایگاه جهانی Worldclim، متغیرهای تراکم جمعیت، میانگین شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI)^۱، کربن آلی خاک، ارتفاع، شاخص ترکیب توپوگرافی (شاخص رطوبت) و شاخص ناهمواری زمین (TRI)^۲ استفاده شد. این دو شاخص در نرم‌افزار SAGA GIS ایجاد شدند. شاخص رطوبت (CTI)^۳، شاخص ترکیب پستی‌وبلندی است که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد و به شاخص خیسی نیز معروف است (Karami et al., 2020). جدول ۱ متغیرهای مستقل به‌کاررفته در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه ناقلین تب دانگ را نشان می‌دهد و در شکل ۲ نمونه‌هایی از نقشه‌های تهیه‌شده در این پژوهش ارائه شده است.

آندس آلبوپیکتوس عمدتاً یک ناقل ثانویه است و قابلیت تطبیق بسیار بالایی با محیط دارد. این گونه ظروف محتوی آب در اطراف خانه‌ها و یا دورتر را برای تخم‌گذاری استفاده می‌کند. تجارت بین‌الملل و جابه‌جایی کالاهای محتوی تخم گونه‌ها به‌خصوص از طریق لاستیک خودرو، موجب گسترش جهانی این دو گونه ناقل شده است. با توجه به اینکه علیه اکثر ویروس‌های منتقله از طریق پشه‌ها واکسن مؤثر و مورد تأیید و همچنین داروی ضد ویروسی وجود ندارد در حال حاضر بهترین روش پیشگیری و کنترل این دسته از بیماری‌ها، کنترل ناقلین آن‌هاست. از آنجاکه افزایش دمای سطح زمین و تغییرات اقلیمی، الگوی بارندگی و نیز گسترش شهرنشینی در اغلب نقاط جهان بر دامنه و گستره انتشار حشرات ناقل

جدول ۱. متغیرهای مستقل به‌کاررفته در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه

قدرت تفکیک	منبع	متغیر
		متوسط دامنه روزانه دما (Bio2)
		دامنه دمای سالانه (Bio7)
		متوسط دمای مرطوب‌ترین سه ماه پیوسته (Bio8)
۳۰ ثانیه	https://www.worldclim.org	متوسط دمای سردترین سه ماه پیوسته (Bio11)
		بارندگی خشک‌ترین ماه (Bio14)
		تغییرات فصلی بارندگی (Bio15)
		بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه پیوسته (Bio16)
		بارندگی سردترین سه ماه پیوسته (Bio19)
۱۰۰ متر	https://sedac.ciesin.columbia.edu	تراکم جمعیت (Pop)
۲۵۰ متر	سامانه گوگل ارث انجین	میانگین شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)
۲۵۰ متر	با استفاده از لایه ارتفاع در نرم‌افزار SAGA GIS	شاخص ترکیب توپوگرافی (CTI)
		زبری (Roughness)
۳۰ ثانیه	https://www.worldclim.org	ارتفاع (Dem)
۳۰ ثانیه	http://54.229.242.119/GSOCmap	کربن آلی خاک (SOC)

1. Normalized difference vegetation index
2. Terrain Ruggedness Index
3. Compound Topographic Index



شکل ۲. نقشه‌های فاکتور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه. (الف) NDVI؛ (ب) متوسط دمای سالانه؛ (ج) تراکم جمعیت؛ (د) کربن آلی خاک؛ (ه) ارتفاع؛ (و) متوسط بارندگی سالانه

۳-۲- پیش‌پردازش و آماده‌سازی لایه‌ها

به‌منظور کاهش خودهمبستگی مکانی برای داده‌های نقاط حضور، لایه هتروژنتی توپوگرافی با استفاده از SDM toolbox در ArcGIS 10.4.1 ساخته شد، به این مفهوم که نقاطی که در ارتفاع‌های متفاوت‌تری هستند باید در مدل‌سازی حضور داشته باشند و نقاطی که از نظر ارتفاع دارای شرایط یکسانی هستند از فرایند مدل‌سازی حذف شوند که این عمل در این پژوهش

انجام و همین لایه نیز تولید شد و با در نظر گرفتن این لایه عمل کاهش خودهمبستگی مکانی اجرا شد و با در نظر گرفتن توزیع مناسب شعاع ۵۰ کیلومتری برای کاهش خودهمبستگی مکانی انتخاب شد. لازم است توضیح داده شود که قبل از انجام تجزیه و تحلیل، میزان همبستگی متغیرهای زیستی با استفاده از تابع PCA در نرم‌افزار ArcGIS بررسی شد و متغیرهایی که میزان همبستگی بین آنها بالای ۰/۷۵ بود، از تحلیل حذف شدند.

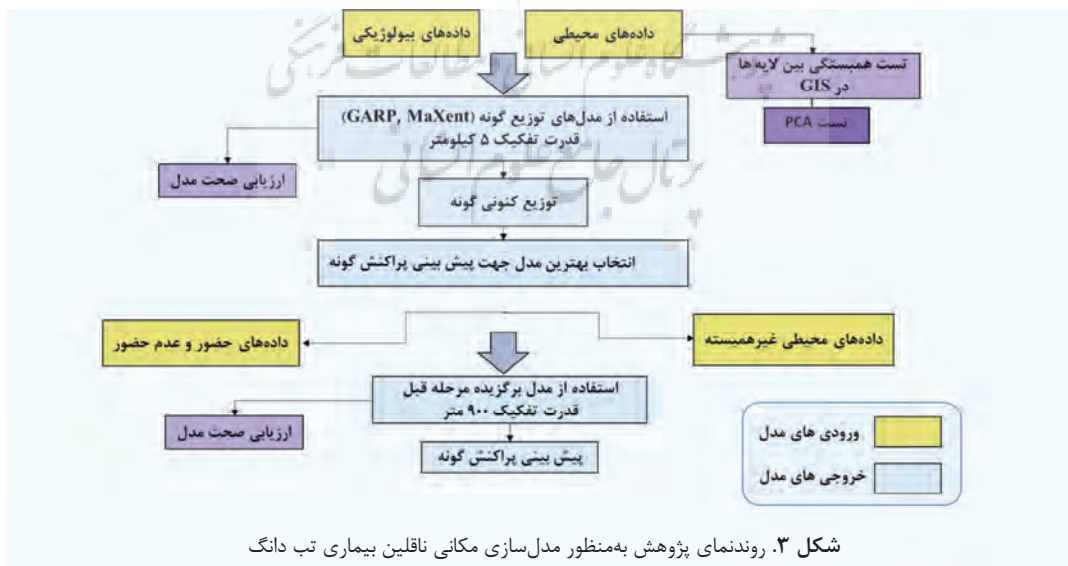
۲-۴- مدل‌سازی

در پژوهش حاضر از دو مدل MaxEnt و GARP برای مدل‌سازی توزیع مکانی ناقلین تب دانگ و شناسایی مطلوبیت زیستگاهی استفاده شد. علت انتخاب این دو مدل گستردگی استفاده از آنها برای مدل‌سازی توزیع مکانی انواع حشرات و مقایسه نتایج حاصل از این دو مدل برای گونه مذکور بوده است. روندنمای کلی این پژوهش به‌منظور مدل‌سازی مکانی ناقلین بیماری تب دانگ در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌گونه که گفته شد، در این پژوهش، مدل‌سازی توزیع مکانی ناقلین اصلی تب دانگ در دو سطح و دو قدرت تفکیک مکانی مختلف بررسی و تحلیل شده است.

۱-۴-۲- مدل MaxEnt

مکسنت یک روش برای پیش‌بینی یا استنتاج از اطلاعات ناکامل است (Phillips et al., 2006). ایده مکسنت برآورد توزیع احتمال هدف به‌وسیله یافتن توزیع احتمال حداکثر آنتروپی (یعنی بیشترین میزان گسترش یا نزدیک‌ترین حالت به یکنواخت)، با توجه به مجموعه‌ای از محدودیت‌ها (یا شرایط) که نشان‌دهنده اطلاعات ناکامل ما درباره توزیع هدف است.

هنگامی که مکسنت برای مدل‌سازی توزیع گونه‌های فقط حضور به کار گرفته می‌شود، پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه فضایی را تعیین می‌کنند که توزیع احتمال مکسنت در آن تعریف شده است، پیکسل‌هایی با سوابق وقوع گونه‌های شناخته‌شده نقاط نمونه را تشکیل می‌دهند و ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی، ارتفاع یا سایر متغیرهای محیط زیستی و توابع وابسته به آن هستند. هنگام تخمین یک توزیع احتمال نامعلوم، باید اطمینان حاصل شود که تخمین هر گونه محدودیت را در توزیع ناشناخته که از آن مطلع هستیم، جبران می‌کند و با توجه به آن محدودیت‌ها، توزیع باید حداکثر آنتروپی را داشته باشد (Phillips et al., 2006). کاربرد اصل حداکثر آنتروپی در توزیع گونه‌ها را نظریه‌های ترمودینامیک فرایندهای بوم‌شناختی تأیید می‌کنند قانون دوم ترمودینامیک مشخص می‌کند که در سیستم‌های بدون تأثیر خارج، فرایندها در جهتی حرکت می‌کنند که آنتروپی را به حداکثر می‌رساند. بنابراین، در غیاب تأثیرات غیر از موارد محدودشده در مدل، توزیع جغرافیایی یک گونه در واقع به سمت توزیع حداکثر آنتروپی متمایل خواهد شد (Zeidi et al., 2013).



شکل ۳. روندنمای پژوهش به‌منظور مدل‌سازی مکانی ناقلین بیماری تب دانگ

از چهار نوع قاعده استفاده می‌شود؛ اولین قاعده، انولوپ^۱ است که محدوده‌ای از هر متغیر را برای پیش‌بینی حضور گونه نیاز دارد (مثلاً اگر دما بین ۲۹ و ۳۳ درجه سانتی‌گراد و بارندگی بین ۶۰۹ تا ۱۴۲۰ میلی‌متر باشد آنگاه مدل، نقاط حضور گونه را پیش‌بینی می‌کند). دومین قاعده، گارپ^۲ است که مشابه انولوپ است؛ به‌استثنای اینکه بعضی متغیرها می‌توانند ارتباطی به حضور یا عدم حضور گونه نداشته باشند (متغیری بی‌ارتباط در نظر گرفته می‌شود که نقاط حضور گونه در همه محدوده‌های آن متغیر وجود داشته باشد). قاعده سوم، قاعده لوگیت^۳ است که تاحدودی مشابه رگرسیون لجستیک است و چهارمین قاعده، اتمیک^۴ نام‌گذاری شده که برای پیش‌بینی، نیازمند مقادیر مشخصی از هر متغیر است؛ مثال آنکه، اگر دما ۱۲۷ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع ۴۰۰ متر بالاتر از سطح دریا باشد آنگاه مدل پیش‌بینی می‌کند که آن نقطه، نقطه عدم حضور گونه است (Pouveau et al., 2011).

۲-۴-۳- حساسیت‌سنجی و اعتبارسنجی

عمل حساسیت‌سنجی همچنین در نرم‌افزار Idrisi TerrSet به‌وسیله روش رگرسیون لجستیک انجام شد. به‌منظور بررسی اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در مدل‌سازی از تست جک نایف استفاده شد. در این تحلیل اهمیت متغیرها براساس ورود و خروج آن‌ها از مدل در مقایسه با مدلی که متغیرها را دربردارد، محاسبه می‌شود. اعتبارسنجی مدل نیز با استفاده از مساحت سطح زیرمنحنی (AUC)^۵ آماره تحلیل عاملی دریافت‌کننده ROC^۶ محاسبه شد. AUC بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر یک مدل خوب، بین ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و مقادیر بیش از ۰/۹ بیانگر اجرای مدل بسیار عالی است.

نقشه خروجی در مدل مکسنت، نقشه‌ای است که در آن سلول‌ها دارای مقادیر پیوسته بین صفر تا یک هستند و هر چقدر مقدار یک سلول در این نقشه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، به این معنی است که آن سلول مطلوبیت زیستگاه بالاتری را برای گونه مورد نظر دارد (Zeidi et al., 2013). برای اهداف ما، توزیع احتمال ناشناخته، که با نشان داده می‌شود، بیش از یک مجموعه محدود X است (مجموعه پیکسل‌ها در منطقه مورد مطالعه). به عناصر جداگانه X به‌عنوان نقاط اشاره می‌شود. توزیع به هر نقطه x یک احتمال غیرمنفی (x) اختصاص می‌دهد و این احتمالات به ۱ می‌رسد. تخمین از نیز یک توزیع احتمال است که با $\hat{\pi}$ نشان داده می‌شود. آنتروپی $\hat{\pi}$ به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$\text{رابطه (۱)} \quad H(\hat{\pi}) = -\sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x)$$

جایی که \ln لگاریتم طبیعی است. آنتروپی غیرمنفی است و حداکثر لگاریتم طبیعی تعداد عناصر در X است.

۲-۴-۲- مدل GARP

روش GARP از یک الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند. فرایند کلی الگوریتم ژنتیک شامل مقداردهی اولیه ساختارهای جمعیتی، انتخاب تصادفی یک زیرمجموعه داده، ارزیابی جمعیت جاری، ذخیره کردن بهترین قواعد، توقف اجرای الگوریتم یا ادامه دادن، انتخاب جمعیت جدید با استفاده از بهترین قواعد ذخیره‌شده و نسل‌های تصادفی، اعمال عملگرهای جهش و تقاطع به جمعیت و باری دیگر بازگشت به مرحله دوم انتخاب تصادفی یک زیرمجموعه داده است. دفعات تکرار و اتمام فرایند الگوریتم ژنتیک را کاربر تعیین می‌کند (Stockwell et al., 1999).

این مدل شامل یک فرایند تکراری از انتخاب قاعده‌ها، ارزیابی، تکرار و تلفیق یا حذف قواعد است. هر نوع قاعده یک روش خاص را برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی گونه به کار می‌گیرد. در نرم‌افزار مدل گارپ

1. envelope
2. GARP
3. Logit
4. Atomic
5. Area Under the Curve
6. Receiver Operating Characteristic

۳- نتایج

در مدل MaxEnt و GARP متغیرهای ورودی همان داده‌های نقاط حضور گونه و لایه‌های محیطی هستند. در این دو مدل از ۷۰٪ نقاط حضور گونه‌ها برای ایجاد مدل و از ۳۰٪ نقاط حضور باقی‌مانده نیز برای ارزیابی مدل ساخته‌شده استفاده شد. در مدل مکسنت با ۱۰۰۰ تکرار و انتخاب ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی به‌عنوان نقاط زمینه مدل‌سازی انجام گرفت.

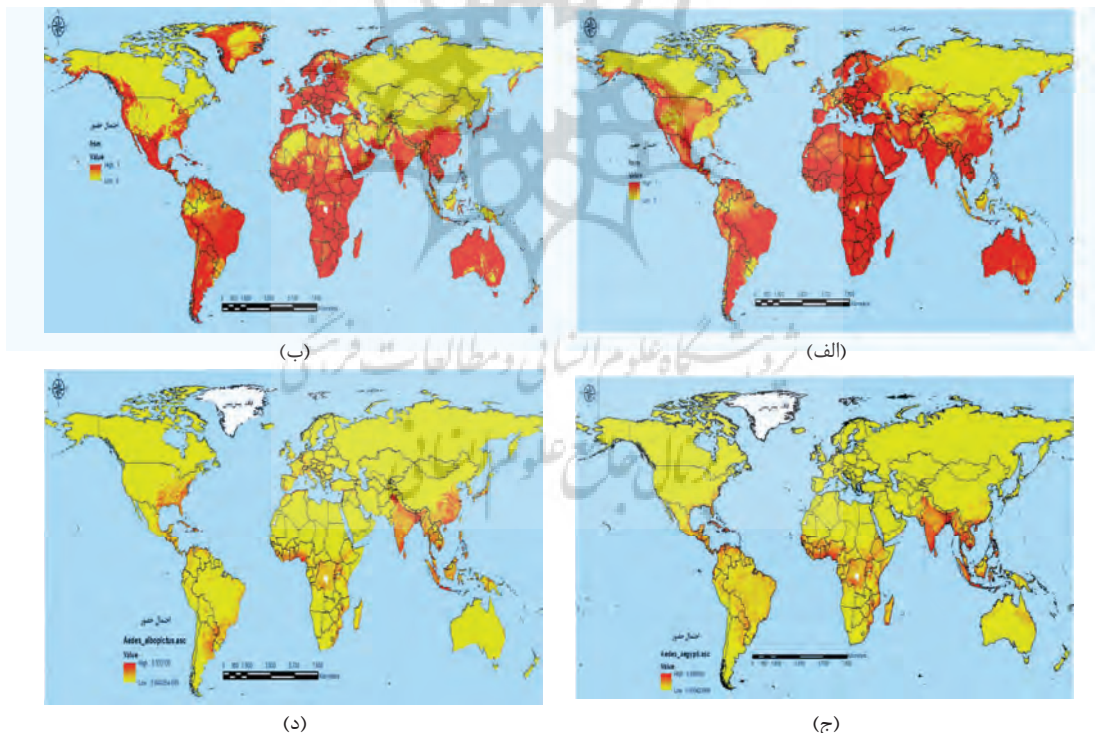
مدل GARP نیز ۱۰۰ بار تکرار شده و فرایند انتخاب بهترین زیرمجموعه اجرا شد. سپس ۱۰ درصد کل مدل‌ها که زیرآستانه ۵ درصد خطای حذف‌شدگی قرار داشتند، انتخاب شدند. نقشه‌های پیش‌بینی ساخته‌شده توسط این مدل فقط مقدار دوتایی حضور و عدم حضور را ارائه می‌کنند. بنابراین تعداد ۱۰ نقشه پیش‌بینی موجود در پوشه بهترین زیرمجموعه، با هم

تلفیق و به یک نقشه پیوسته (۰ تا ۱) تبدیل و به‌عنوان نقشه نهایی احتمال حضور گونه ارائه شد.

۳-۱- نتایج مدل‌سازی با روش MaxEnt و GARP در

سطح جهان

شکل ۴ نقشه پیش‌بینی قابلیت پراکنش دو گونه پشه آندس اجیپتی و آندس آلبوپیکتوس را با استفاده از مدل MaxEnt و GARP با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر نشان می‌دهد. مقادیر احتمال این نقشه‌ها از صفر تا یک تغییر می‌کند که اعداد نزدیک به یک بیانگر احتمال رخداد بالای گونه است. پس از برش زدن کشور ایران از نقشه پیش‌بینی جهانی، نتیجه مدل برای دو گونه پشه آندس اجیپتی و آندس آلبوپیکتوس در ایران در شکل ۸ نمایش داده شده است.

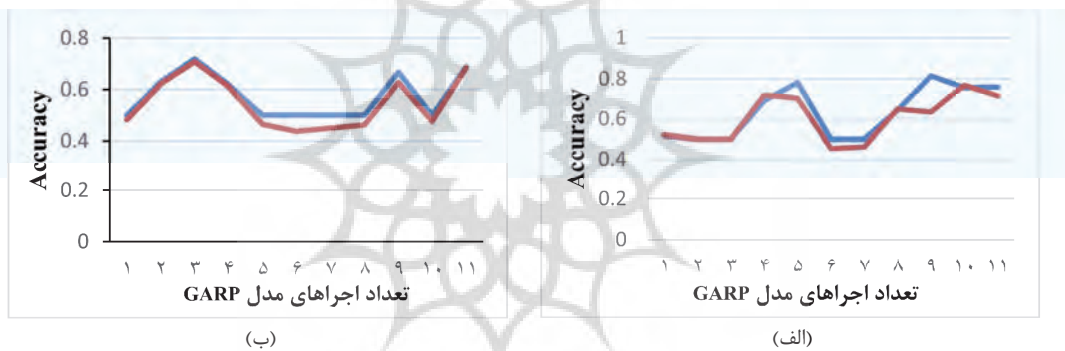


شکل ۴. نقشه پیش‌بینی قابلیت پراکنش دو گونه پشه آندس اجیپتی و آندس آلبوپیکتوس با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر در سطح جهان. (الف) گونه آندس اجیپتی با مدل GARP؛ (ب) گونه آندس آلبوپیکتوس با مدل GARP؛ (ج) گونه آندس اجیپتی با مدل MaxEnt؛ (د) گونه آندس آلبوپیکتوس با مدل MaxEnt

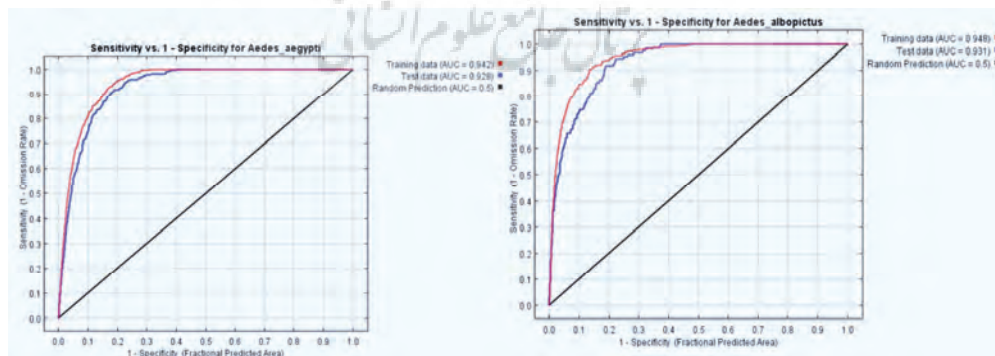
۲-۳- اعتبارسنجی نتایج دو مدل

عمل ارزیابی صحت مدل GARP براساس داده‌های آموزشی و داده‌های آزمایشی انجام شد. با توجه به شکل ۵، صحت نهایی برای داده‌های آموزشی و آزمایشی برای گونه‌ آندس اجیپتی به ترتیب برابر با ۰/۵۷ و ۰/۵۵ و برای گونه‌ آندس آلبوپیکتوس به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۰/۶۱ است. همچنین شکل ۶ مقدار AUC (صحت نهایی) داده‌های آموزش و آزمون برای مدل MaxEnt را نشان می‌دهد که این مقادیر برای گونه‌ آندس اجیپتی برابر ۰/۹۴ و ۰/۹۲ و همچنین این مقادیر به ترتیب ذکر شده برای گونه‌ آندس آلبوپیکتوس برابر ۰/۹۴ و ۰/۹۳ محاسبه شدند که حاکی از اجرای مدل با صحت بالاست.

با توجه به نتایج اعتبارسنجی برای هر دو گونه (شکل ۵ و ۶) در دو مدل برای داده‌های آموزش و آزمایش مشاهده شد که روش مدل‌سازی GARP کارایی خوبی در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه ناقلین تب دانگ ندارد. در صورتی که مقادیر سطح زیرمنحنی ROC برای هر دو گونه در مدل MaxEnt بالاتر از ۰.۹ است که بیانگر عملکرد مناسب در پیش‌بینی پراکنش گونه هستند. بنابراین مدل MaxEnt در ادامه پژوهش برای سطح قاره آسیا در ۹۰۰ متر به منظور ارزیابی نتایج با تغییر دقت مکانی برای هر دو گونه اجرا شد.



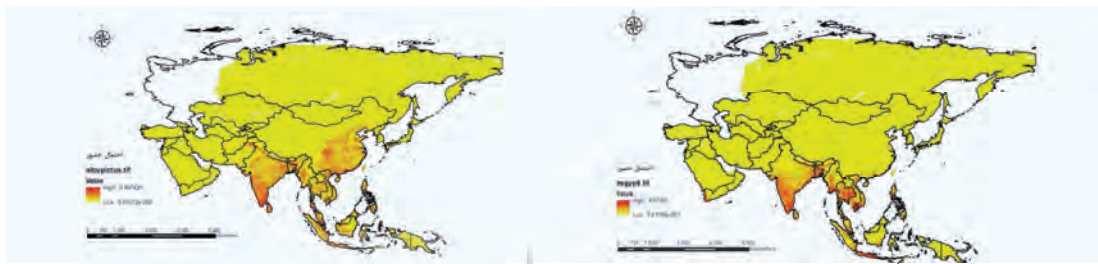
شکل ۵. نمودار حاصل از ارزیابی صحت نهایی مدل GARP براساس داده‌های آموزشی (آبی) و داده‌های آزمایشی (قرمز) برای گونه (الف) آندس اجیپتی و (ب) گونه آندس آلبوپیکتوس



شکل ۶. منحنی ROC مربوط به نتایج مدل MaxEnt اجرا شده برای گونه آلبوپیکتوس (راست) و آندس اجیپتی (چپ)

نقشه فوق براساس مرز انجام گرفت که در شکل ۸ و ۹ این نتایج قابل مشاهده است. مقادیر سطح زیرمنحنی ROC برای گونه آندس اجیپتی ۰/۹۴۲ و برای گونه آندس آلبویکتوس ۰/۹۴۸ است که بیانگر قابلیت عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی پراکنش این دو گونه است.

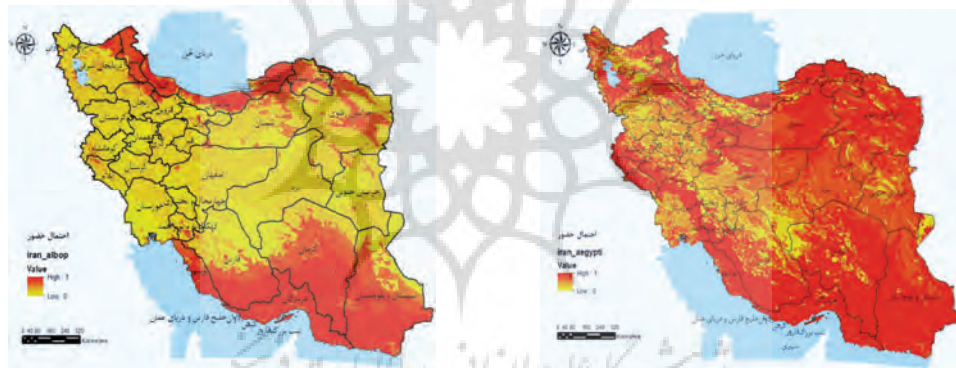
۳-۳- نتایج مدل‌سازی با روش MaxEnt برای قاره آسیا لایه‌های محیطی با قدرت دقت مکانی ۹۰۰ متر برای قاره آسیا تهیه شد. شکل ۷ نقشه مطلوبیت زیستگاه حاصل از روش مدل‌سازی MaxEnt را برای هر دو گونه در قاره آسیا نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی مطلوبیت زیستگاه برای هر دو گونه در ایران عمل برش هر دو



(ب)

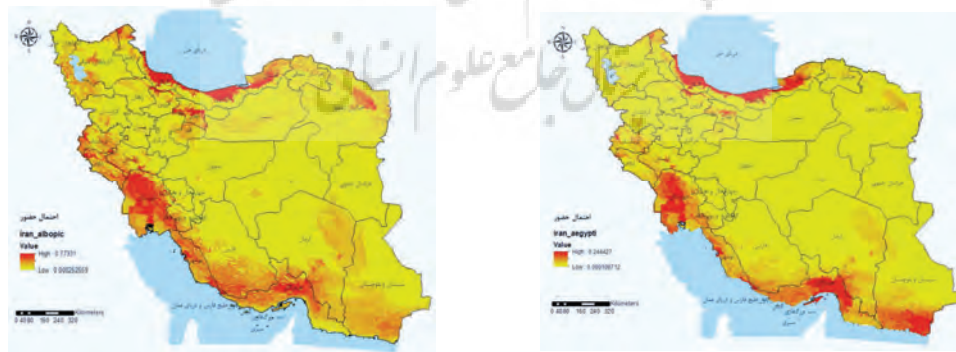
(الف)

شکل ۷. نقشه پیش‌بینی قابلیت پراکنش دو گونه پشه آندس اجیپتی و آندس آلبویکتوس با مدل MaxEnt با قدرت تفکیک مکانی ۹۰۰ متر در سطح قاره آسیا. (الف) گونه آندس اجیپتی و (ب) گونه آندس آلبویکتوس



(ب)

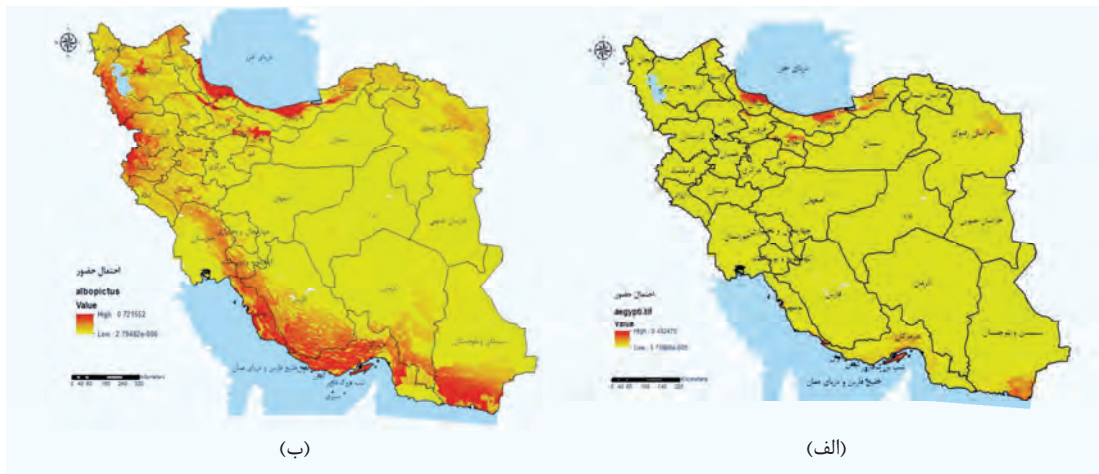
(الف)



(د)

(ج)

شکل ۸. نقشه پیش‌بینی قابلیت پراکنش دو گونه پشه آندس اجیپتی و آندس آلبویکتوس با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر در سطح ایران. (الف) گونه آندس اجیپتی با مدل GARP؛ (ب) گونه آندس آلبویکتوس با مدل GARP؛ (ج) گونه آندس اجیپتی با مدل MaxEnt؛ (د) گونه آندس آلبویکتوس با مدل MaxEnt



شکل ۹. نقشه پیش‌بینی قابلیت پراکنش دو گونه پشه آندس اجیپتی و آندس آلبوپیکتوس با مدل MaxEnt با قدرت تفکیک مکانی ۹۰۰ متر در سطح قاره آسیا. (الف) گونه آندس اجیپتی و (ب) گونه آندس آلبوپیکتوس

۳-۴- درصد مشارکت متغیر

جدول ۲ نتایج حاصل از مشارکت متغیرهای زیستگاهی مورد استفاده در مدل MaxEnt را برای هر دو گونه در دو مقیاس نمایش می‌دهد. براساس نتایج حاصل از این جدول متغیرهای تراکم جمعیت، متوسط دمای سردترین سه ماه پیوسته و دامنه دمای سالانه بیشترین تأثیر را بر حضور گونه‌ها و مطلوبیت زیستگاه داشته‌اند، این در حالی است که متغیرهای متوسط دامنه دمای روزانه و کربن آلی خاک کمترین تأثیر را داشتند.

جدول ۲. درصد مشارکت متغیرهای مستقل به کاررفته در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه

متغیر	قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر		قدرت تفکیک مکانی ۹۰۰ متر	
	<i>Aedes albopictus</i>	<i>Aedes aegypti</i>	<i>Aedes albopictus</i>	<i>Aedes aegypti</i>
تراکم جمعیت (Pop)	۵۴/۲	۷۵/۶	۶۷/۶	۵۴/۶
متوسط دمای سردترین سه ماه پیوسته (Bio11)	۲۶/۴	۶/۳	۹/۴	۳۶/۸
دامنه دمای سالانه (Bio7)	۵/۸	۱/۱	۶/۳	۱/۷
بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه پیوسته (Bio16)	۴/۵	۳/۶	۴	۱/۴
متوسط دمای مرطوب‌ترین سه ماه پیوسته (Bio8)	۲/۳	۱/۱	۳/۹	۱/۴
بارندگی سردترین سه ماه پیوسته (Bio19)	۱/۱	۴/۵	۳/۱	۱/۱
میانگین شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۰/۸
بارندگی خشک‌ترین ماه (Bio14)	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۰/۸
شاخص ترکیب توپوگرافی (CTI)	۰/۸	۱/۳	۰/۸	۰/۶
زبری (Roughness)	۰/۷	۰/۴	۰/۷	۰/۳
ارتفاع (Dem)	۰/۶	۰/۹	۰/۶	۰/۳
تغییرات فصلی بارندگی (Bio15)	۰/۳	۱/۲	۰/۵	۰/۱
متوسط دامنه روزانه دما (Bio2)	۰/۳	۱/۲	۰/۴	۰/۱
کربن آلی خاک (SOC)	۰/۲	۰/۵	۰/۳	۰/۲

۵-۳- اهمیت متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش

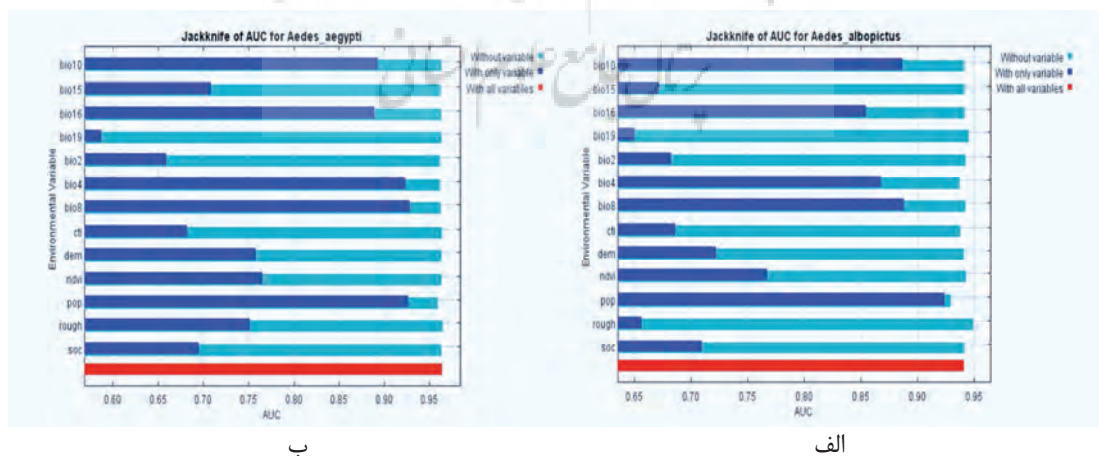
شکل ۱۰ نمودار نتایج حاصل از تحلیل جک‌نایف را در سطح جهان و قاره برای دو گونه نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، متغیر تراکم جمعیت بیشترین تأثیر را بر گونه‌اندس آلبوپیکتوس و متغیر متوسط دمای مرطوب‌ترین سه ماه پیوسته (Bio8) بیشترین تأثیر را بر گونه‌اندس اجیپتی دارد که مطابق با درصد مشارکت این متغیرها در توسعه مدل است. در شکل‌های ۴، ۷، ۸ و ۹ مناطقی که با رنگ قرمز هستند احتمال بالایی از حضور گونه دارند و مناطق زرد رنگ مناطقی را نمایش می‌دهد که پتانسیل حضور گونه در آن کم است.

بر این اساس بیشترین احتمال حضور گونه‌اندس اجیپتی در عرض‌های جغرافیایی پایین و نواحی حاره است. کشورهای آسیایی شرقی، هند و جنوب آفریقا و آمریکای جنوبی بیشترین احتمال حضور گونه را دارند. برای گونه‌اندس آلبوپیکتوس نیز دامنه انتشار مشابه گونه‌قبلی است، با این تفاوت که احتمال حضور این گونه در عرض‌های جغرافیایی بالاتر و نواحی استپی کشور نیز در معرض حضور این گونه قرار دارد. براساس نتایج احتمال انتشار دو گونه مورد مطالعه در ایران، در نوار جنوبی کشور در حاشیه زاگرس بیرونی و در استان‌های فارس، بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد و امتداد انتشار آن به سمت کرمانشاه گسترش یافته است. در نوار شمالی نیز احتمال حضور این گونه‌ها افزایش

پیدا کرده است. نتایج نشان می‌دهد احتمال انتشار این دو گونه در مناطق پست و کم‌ارتفاع و همچنین مناطقی با پوشش گیاهی بالا در بیشترین مقدار است که به دلیل وجود رطوبت بالا در نوار شمالی است. در جنوب شرقی گونه‌اندس اجیپتی احتمال حضور بیشتری دارد و در بخش‌های غربی کشور این احتمال برای آندس آلبوپیکتوس بیشتر است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش مدل‌سازی توزیع مکانی ناقلین بیماری تب دانگ شامل دو گونه پشه‌اندس اجیپتی و آندس آلبوپیکتوس است. با توجه به نبود داده‌های ناقلین (نقاط حضور) کافی در کشور، از نقاط حضور این دو گونه در سطح جهان و قاره آسیا برای پژوهش استفاده شد. در این پژوهش، دو نوع لایه اطلاعاتی مورد نیاز است که شامل نقاط حضور هر دو ناقل، و متغیرهای زیست‌محیطی از جمله ۱۹ عامل اقلیمی (بیوها)، ارتفاع، تراکم جمعیت، میانگین شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، کربن آلی خاک، زبری سطح زمین و شاخص ترکیب توپوگرافی می‌شود. پس از پیش‌پردازش و آماده‌سازی لایه‌ها، متغیرهای با همبستگی بالاتر از ۰/۷۵ از تحلیل حذف شدند، علاوه بر آن با استفاده از لایه عدم تجانس ارتفاع کاهش خودهمبستگی بین نقاط حضور در فاصله ۵۰ کیلومتری انجام گرفت.



شکل ۱۰. نمودار جک‌نایف مربوط به مدل MaxEnt برای گونه‌اندس اجیپتی و (ب) آندس آلبوپیکتوس در سطح قاره آسیا

نشریه سنجش از دور و GIS ایران

سال ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

در (Rasheed et al., 2013; Fatima et al., 2016). در مطالعه‌ای که کرامر و همکاران (Kraemer et al., 2015) بر روی گستره انتشار جهانی این دو گونه انجام دادند نیز نتایج مشابهی برای دو توزیع گونه‌ها حاصل شد. تفاوت اصلی پژوهش با پژوهش یادشده در قدرت تفکیک مکانی مورد استفاده است که قدرت تفکیک مکانی بالاتر در این مطالعه امکان تحلیل بهتر سیمای سرزمین‌های محلی را فراهم آورد.

در پژوهش فاطیما و همکاران (Fatima et al., 2016) در پاکستان و همچنین پژوهش بلداجینو و همکاران (Baldacchino et al., 2017) در ایتالیا، نتایج نشان داد که مؤلفه‌های مربوط به انسان مانند تراکم جمعیت انسانی و همچنین وجود زیرساخت‌های انسانی بر توزیع این گونه بسیار مؤثرند که مشابه یافته‌های این مطالعه است. متغیرهای اقلیمی توصیف‌کننده دما بعد از تراکم جمعیت بیشترین تأثیر را بر گستره انتشار دو گونه داشتند. مطالعاتی که در اروپا انجام گرفته است نشان از اهمیت متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما در توزیع گونه‌های مذکور دارد (Fischer et al., 2014; Cunze et al., 2016). دما رابطه‌ای قوی با نرخ رشد حشرات و تراکم گونه‌ها بالغ آندس آلبوپیکتوس دارد (Waldock et al., 2013; Delatte et al., 2009). متغیر پوشش گیاهی برای گونه آندس آلبوپیکتوس به نسبت گونه آندس اجیپتی دارای اهمیت بیشتری است که این مهم همسو با مطالعه کرامر و همکاران (۲۰۱۵) است. البته در این مطالعه از شاخص NDVI استفاده شد، ولی در مطالعه مذکور شاخص پوشش گیاهی EVI استفاده شده است.

در بهمن ۱۳۹۹ متأسفانه تعداد کمی پشه و تخم پشه آندس در شهرستان بندر لنگه، استان هرمزگان کشف شد که دقیقاً این پژوهش آن را پیش‌بینی کرده بود. به نظر می‌رسد پهنه‌هایس از قسمت گرمسیری کشور از سیستان و بلوچستان تا بخش‌های شرقی کرمانشاه و همچنین نوار شمالی کشور دارای پتانسیل بالایی به نسبت سایر نواحی داخلی کشور است که لازم است در فصول اپیدمی در کشورهای دارای پتانسیل

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از روش‌های MaxEnt و GARP مطلوبیت زیستگاهی با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر برای هر دو گونه در سطح جهان مدل‌سازی و عملکرد این دو مدل ارزیابی شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده مدل GARP با میانگین ROC به‌ترتیب برای دو گونه آندس اجیپتی و گونه آندس آلبوپیکتوس برابر با ۰/۶۳ و ۰/۵۷ و این مقادیر برای مدل MaxEnt برای هر دو گونه بالاتر از ۰/۹ به دست آمد که بیانگر عملکرد بهتر این مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست. از این‌رو مدل MaxEnt در ادامه پژوهش برای سطح قاره آسیا با قدرت تفکیک مکانی ۹۰۰ متر به‌منظور ارزیابی نتایج با تغییر دقت مکانی برای هر دو گونه اجرا شد. نتایج پژوهش نشان داد که استان‌های شمالی و جنوبی کشور مطلوبیت زیستگاهی بالاتری را برای هر دو گونه دارند، با این تفاوت که گونه آندس اجیپتی در قسمت‌های جنوبی به‌سمت شرق در حاشیه دریایی عمان دارای احتمال پراکنندگی بالاتری است. در پیاده‌سازی روش MaxEnt برای گونه آندس آلبوپیکتوس، استان‌های موجود در غرب ایران نیز مطلوب تعیین شدند که این مهم در مقیاس کوچک‌تر به‌صورت درست مدل‌سازی نشده بود. مدل MaxEnt در دو قدرت تفکیک ۵ کیلومتری و ۹۰۰ متری (مقیاس کوچک‌تر) پیاده‌سازی شد و مدل در قدرت تفکیک ۹۰۰ متری برای مطلوبیت استان‌های غربی کشور برای گونه آندس آلبوپیکتوس را پیش‌بینی نموده بود که در قدرت تفکیک ۵ کیلومتری به‌صورت درست پیش‌بینی نشده بود. تست جک‌نایف اجراشده برای قاره آسیا برای هر دو گونه نشان داد که متغیر تراکم جمعیت بیشترین تأثیر را بر گونه آندس آلبوپیکتوس و متغیر متوسط دمای مرطوب‌ترین سه ماه پشت سر هم (bio8) بیشترین تأثیر را بر روی گونه آندس اجیپتی دارد.

در پژوهش‌های دیگر پژوهشگران نیز بر کارایی مدل‌های مطلوبیت زیستگاه بر روی شناسایی مناطق مستعد بیماری و نقشه‌سازی آن‌ها تأکید شده است

- susceptibility status of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in farm and nonfarm sites of Lagos State, Nigeria. *Journal of Insect Science*. Vol. 15, 75.
<https://doi.org/10.1093/jisesa/>
- Baldacchino, F., Marcantonio, M., Manica, M., Marini, G., Zorer, R., Delucchi, L., Arnoldi, D., Montarsi, F., Capelli, G., Rizzoli, A. and Rosà, R., (2017).** Mapping of *Aedes albopictus* abundance at a local scale in Italy. *Remote Sensing*. Vol. 9, p: 749.
<https://doi.org/10.3390/rs9070749>
- Behdarvand N, Kaboli M, Ebrahimpour R, Jabbarian Amiri B. (2012).** Modeling the spatial distribution of wolf (*Canis lupus pallipes*) attacks on human using genetic algorithm (GARP) in Hamedan province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 2012; 1 (1) :4-14. URL: <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-26-fa.html>
- Benallal, K. E., Allal-Ikhlef, A., Benhamouda, K., Schaffner, F. and Harrat, Z., (2016).** First report of *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Diptera: Culicidae) in Oran, West of Algeria. *Acta tropica*. Vol. 164, pp: 411-413.
<https://doi.org/10.18502/jad.v13i4.2240>
- Bengoa, M., Eritja, R., Delacour, S., Miranda, M. Á., Sureda, A. and Lucientes, J., (2017).** First data on resistance to pyrethroids in wild populations of *Aedes albopictus* from Spain. *Journal of the American Mosquito Control Association*. Vol. 33, pp: 246-249.
<https://doi.org/10.2987/17-6636R.1>
- Bennouna, A., Balenghien, T., El Rhaffouli, H., Schaffner, F., Garros, C., Gardes, L. and Fassi Fihri, O., (2017).** First record of *Stegomyia albopicta* (*Aedes albopictus*) in Morocco: a major threat to public health in North Africa?. *Medical and veterinary entomology*. Vol. 31, pp: 102-106.
<https://doi.org/10.1111/mve.12194>
- Bilal, H., Sahar, S. and Din, S., (2017).** Bio-pesticides: New tool for the control of *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Culicidae: Diptera) in Pakistan. *Journal of arthropod-borne diseases*. Vol.11, p: 278. PMID: 29062852; PMCID: PMC5641616.
- همراه با بارش موسمی برنامه‌های نظارتی داخلی بر این مناطق متمرکز شود. خطوط حمل‌ونقل یکی از زیرساخت‌های بسیار مهم برای گسترش و انتقال گونه‌های یادشده در اکثر مطالعات در نظر گرفته شده‌اند که نظارت بر آن به‌عنوان یک راهکار برای کنترل جابه‌جایی جمعیت و جلوگیری از انتقال آن در کشور مدنظر قرار گیرد.
- در پژوهش حاضر از دو مدل MaxEnt و GARP برای مدل‌سازی توزیع مکانی ناقلین تب دانگ استفاده شد. این روش‌ها با کمترین داده‌ها فرایند مدل‌سازی توزیع مکانی را انجام می‌دهند. در صورت وجود داده‌های کامل‌تر و با قدرت تفکیک مکانی و زمانی دقیق‌تر می‌توان از سایر روش‌ها مانند جنگل تصادفی و رگرسیون وزنی جغرافیایی استفاده کرد. همچنین می‌توان در محدوده کوچک‌تر و با قدرت تفکیک مکانی بزرگ‌تر مدل‌سازی توزیع مکانی بیماری تب دانگ را انجام داد.

منابع

- Abd Majid, N., Muhamad Nazi, N., & Mohamed, A. F. (2019).** Distribution and Spatial Pattern Analysis on Dengue Cases in Seremban District, Negeri Sembilan, Malaysia. *Sustainability*, 11(13), 3572.
<https://doi.org/10.3390/su11133572>
- Akner, M. M., Öztürk, M., Başer, A. B., Günay, F., Hacıoğlu, S., Brinkmann, A. and Ergünay, K., (2019).** Arboviral screening of invasive *Aedes* species in northeastern Turkey: West Nile virus circulation and detection of insect-only viruses. *PLoS neglected tropical diseases*. Vol. 13, e0007334.
 doi: 10.1371/journal.pntd.0007334
- Alvarez, L. C., Ponce, G., Saavedra-Rodriguez, K., Lopez, B. and Flores, A. E., (2015).** Frequency of V1016I and F1534C mutations in the voltage-gated sodium channel gene in *Aedes aegypti* in Venezuela. *Pest management science*. Vol. 71, pp: 863-869. <https://doi.org/10.1002/ps.3846>
- Ayorinde, A., Oboh, B., Oduola, A. and Otubanjo, O., (2015).** The insecticide

- Bouattour, A., Khrouf, F., Rhim, A. and M'ghirbi, Y., (2019).** First Detection of the Asian tiger mosquito, *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Diptera: Culicidae), in Tunisia. *Journal of medical entomology*. Vol. 56, pp: 1112-1115.
<https://doi.org/10.1093/jme/tjz026>
- Chareonviriyaphap, T., Bangs, M. J., Suwonkerd, W., Kongmee, M., Corbel, V. and Ngoen-Klan, R., (2013).** Review of insecticide resistance and behavioral avoidance of vectors of human diseases in Thailand. *Parasites & vectors*. Vol. 6, pp: 1-28. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-280>
- Che-Him, N., Kamardan, M., Rusiman, M. S., Sufahani, S., Mohamad, M., & Kamaruddin, N. K. (2018).** Spatio-temporal modelling of dengue fever incidence in Malaysia. In *Journal of Physics Conference Series* (Vol. 995, No. 1, p. 012003).
- Chin, A. C., Chen, C. D., Low, V. L., Lee, H. L., Azidah, A. A., Lau, K. W. and Sofian-Azirun, M., (2017).** Comparative efficacy of commercial mosquito coils against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Malaysia: a nationwide report. *Journal of economic entomology*. Vol. 110, pp: 2247-2251.
<https://doi.org/10.1093/jee/tox183>
- Chuaycharoensuk, T., Juntarajumnong, W., Boonyuan, W., Bangs, M. J., Akrotanakul, P., Thammaphalo, S. and Chareonviriyaphap, T., (2011).** Frequency of pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *Journal of Vector Ecology*. Vol. 36, pp: 204-212.
<https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2011.00158.x>
- Cianci, D., Hartemink, N., & Ibáñez-Justicia, A. (2015).** Modelling the potential spatial distribution of mosquito species using three different techniques. *International journal of health geographics*, 14(1), 10.
<https://doi.org/10.1186/s12942-015-0001-0>
- Cunze, S., Kochmann, J., Koch, L.K. and Klimpel, S., (2016).** *Aedes albopictus* and its environmental limits in Europe. *PLoS One*. Vol. 11, pp: e0162116.
DOI: 10.1371/journal.pone.0162116
- Delatte, H., Gimonneau, G., Triboire, A. and Fontenille, D., (2009).** Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean. *Journal of medical entomology*. Vol. 46, pp: 33-41. DOI: 10.1603/033.046.0105
- Dia, I., Diagne, C. T., Ba, Y., Diallo, D., Konate, L. and Diallo, M., (2012).** Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* populations from Senegal and Cape Verde Archipelago. *Parasites & vectors*. Vol. 5, pp: 1-4. DOI: 10.1186/1756-3305-5-238
- Doosti, S., Yaghoobi-Ershadi, M. R., Schaffner, F., Moosa-Kazemi, S. H., Akbarzadeh, K., Gooya, M. M. and Mosta-Favi, E., (2016).** Mosquito surveillance and the first record of the invasive mosquito species *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse)(Diptera: Culicidae) in southern Iran. *Iranian journal of public health*. Vol. 45, pp: 1064. PMID: 27928533; PMCID: PMC5139964.
- Dorzaban, H., Soltani, A., Alipour, H., Hatami, J., Hashemi, S. A. J., Shahriari-Namadi, M. and Azizi, K., (2020).** Morphological and molecular-based identification of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae), a main vector of Dengue Fever, the first record in Iran after decades. DOI: 10.1016/j.exppara.2022.108235
- Elith, J. and Leathwick, J.R., (2009).** Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*. Vol. 40, pp: 677-697.
DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159
- Endersby-Harshman, N. M., Wuliandari, J. R., Harshman, L. G., Frohn, V., Johnson, B. J., Ritchie, S. A. and Hoffmann, A. A., (2017).** Pyrethroid susceptibility has been maintained in the dengue vector, *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae), in Queensland, Australia. *Journal of medical entomology*. Vol. 54, pp: 1649-1658.
DOI: 10.1093/jme/tjx145
- Estallo, E.L., Sangermano, F., Grech, M., Ludueña-Almeida, F., Frías-Cespedes, M.,**

- Ainete, M., Almirón, W. and Livdahl, T., (2018).** Modelling the distribution of the vector *Aedes aegypti* in a central Argentine city. *Medical and veterinary entomology*. Vol. 32, pp: 451-461.
DOI: 10.1111/mve.12323
- Fatima, S.H., Atif, S., Rasheed, S.B., Zaidi, F. and Hussain, E., (2016).** Species Distribution Modelling of *Aedes aegypti* in two dengue-endemic regions of Pakistan. *Tropical Medicine & International Health*, Vol. 21, pp: 427-436.
<https://doi.org/10.1111/tmi.12664>
- Fischer, D., Thomas, S.M., Neteler, M., Tjaden, N.B. and Beierkuhnlein, C., (2014).** Climatic suitability of *Aedes albopictus* in Europe referring to climate change projections: comparison of mechanistic and correlative niche modelling approaches. *Eurosurveillance*. Vol. 19, p.20696.
DOI: 10.2807/1560-7917.es2014.19.6.20696
- Francis, S., Saavedra-Rodriguez, K., Perera, R., Paine, M., Black IV, W. C., & Delgoda, R., (2017).** Insecticide resistance to permethrin and malathion and associated mechanisms in *Aedes aegypti* mosquitoes from St. Andrew Jamaica. *PloS one*. Vol. 12, pp: e0179673.
doi: 10.1371/journal.pone.0179673
- Gallo, M. S. L., Ribeiro, M. C. H., Prata-Shimomura, A. R., & Ferreira, A. T. S. (2020).** Identifying Geographic Dengue Fever Distribution by Modeling Environmental Variables. *International Journal of Geoinformatics*, 16(1). ISSN 2673-0014
- Getachew, D., Tekie, H., Gebre-Michael, T., Balkew, M. and Mesfin, A., (2015).** Breeding sites of *Aedes aegypti*: potential dengue vectors in Dire Dawa, East Ethiopia. *Interdisciplinary perspectives on infectious diseases*. DOI: 10.1155/2015/706276
- Goindin, D., Delannay, C., Gelasse, A., Ramdini, C., Gaude, T., Faucon, F. and Fouque, F., (2017).** Levels of insecticide resistance to deltamethrin, malathion, and temephos, and associated mechanisms in *Aedes aegypti* mosquitoes from the Guadeloupe and Saint Martin islands (French West Indies). *Infectious diseases of poverty*. Vol. 6(1), pp: 1-15. DOI : 10.1186/s40249-017-0254-x
- Gubler, D.J., (2002).** The global emergence/resurgence of arboviral diseases as public health problems. *Archives of medical research*. Vol. 33, pp: 330-342.
DOI: 10.1016/s0188-4409(02)00378-8
- Hamid, P. H., Prastowo, J., Ghiffari, A., Taubert, A. and Hermosilla, C., (2017).** *Aedes aegypti* resistance development to commonly used insecticides in Jakarta, Indonesia. *PLoS One*. Vol. 12, p e0189680. DOI: 10.1371/journal.pone.0189680
- Hussain, S. S. A., & Dhiman, R. C. (2021).** Distribution Expansion of Dengue vectors and Climate Change in India. *GeoHealth*, e2021GH000477.
<https://doi.org/10.1029/2021GH000477>
- Jentes, E.S., Pomerol, G., Gershman, M.D., Hill, D.R., Lemarchand, J., Lewis, R.F., Staples, J.E., Tomori, O., Wilder-Smith, A. and Monath, T.P., (2011).** The revised global yellow fever risk map and recommendations for vaccination, 2010: consensus of the Informal WHO Working Group on Geographic Risk for Yellow Fever. *The Lancet infectious diseases*. Vol. 11, pp: 622-632.
DOI: 10.1016/S1473-3099(11)70147-5
- Kamgang, B., Marcombe, S., Chandre, F., Nchoutpouen, E., Nwane, P., Etang, J. and Paupy, C., (2011).** Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Central Africa. *Parasites & vectors*. Vol. 4, pp: 1-8.
<https://doi.org/10.1186/1756-3305-4-79>
- Karami, P., Shayesteh, K., & Rastegar Pouyani, N. (2020).** Evaluation of the Distribution of Effective Factors on Habitat Diversity in Kermanshah Protected Areas. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(2), 105-123.
doi: 10.22126/ges.2020.5117.2216
- Khan, J., Khan, I. and Amin, I., (2016).** A comprehensive entomological, serological and molecular study of 2013 dengue outbreak

- of Swat, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. PLoS One. Vol. 11, p e0147416. DOI: 10.1371/journal.pone.0147416
- Khan, J., Khan, I., Ijaz, A., Iqbal, A. and Salman, M., (2017).** The role of vertical transmission of dengue virus among field-captured *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes in Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. Pakistan Journal of Zoology. Vol. 49(3). DOI: 10.17582/journal.pjz/2017.49.3.777.784
- Khoobdel, M., Jonaidi Jafari, N. and Izadi, M., (2016).** Is the Zika threatening the Iran and others Middle East countries? Journal Mil Med. Vol. 17(4), pp: 187-190. URL: http://militarymedj.ir/browse.php?a_id=1528&sid=1&slc_lang=en
- Khoobdel, M.; Jonaidi Jafari, N.(2016).** Dengue fever: Arboviral threatening the Persian Gulf region and southern Iran, Journal of Military Medicine, 18(2), 181-183. magiran.com/p1622810
- Koou, S. Y., Chong, C. S., Vythilingam, I., Lee, C. Y. and Ng, L. C., (2014b).** Insecticide resistance and its underlying mechanisms in field populations of *Aedes aegypti* adults (Diptera: Culicidae) in Singapore. Parasites & vectors. Vol. 7, pp: 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13071-014-0471-0>
- Koou, S. Y., Chong, C. S., Vythilingam, I., Ng, L. C. and Lee, C. Y.,(2014a).** Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* larvae (Diptera: Culicidae) from Singapore. Journal of medical entomology. Vol. 51, pp: 170-181. <https://doi.org/10.1603/ME13113>
- Kraemer, M. U., Sinka, M. E., Duda, K. A., Mylne, A., Shearer, F. M., Brady, O. J. and Hay, S. I., (2015).** The global compendium of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* occurrence. Scientific data. Vol. 2, pp: 1-8. DOI: 10.1038/sdata.2015.35
- Kutateladze, T., Zangaladze, E., Dolidze, N., Mamatsashvili, T., Tskhvaradze, L., Andrews, E. S. and Haddow, A. D., (2016).** First record of *Aedes albopictus* in Georgia and updated checklist of reported species. Journal of the American Mosquito Control Association. Vol. 32, 230-233. DOI: 10.2987/16-6574.1
- Lau, K. W., Chen, C. D., Lee, H. L., Norma-Rashid, Y. and Sofian-Azirun, M., (2015).** Evaluation of insect growth regulators against field-collected *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) from Malaysia. Journal of medical entomology. Vol. 52, pp: 199-206. DOI: 10.1093/jme/tju019
- Leparc-Goffart, I., Nougairede, A., Cassadou, S., Prat, C. and De Lamballerie, X., (2014).** Chikungunya in the Americas. The Lancet. Vol. 383, p.514. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)60185-9
- Lubinda, J., Walsh, M. R., Moore, A. J., Hanafi-Bojd, A. A., Akgun, S., Zhao, B., ... & Haque, U. (2019).** Environmental suitability for *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* and the spatial distribution of major arboviral infections in Mexico. *Parasite epidemiology and control*, 6, e00116. DOI: 10.1016/j.parepi.2019.e00116
- Moyes, C. L., Vontas, J., Martins, A. J., Ng, L. C., Koou, S. Y., Dufour, I. and Weetman, D., (2017).** Contemporary status of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses infecting humans. PLoS neglected tropical diseases. Vol. 11, e0005625. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005625>
- Mubbashir, H., Munir, S., Kashif, R., Nawaz, H. B., Abdul, B. and Baharullah, K. (2018).** Characterization of dengue virus in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* spp. of mosquitoes: A study in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. Molecular Biology Research Communications. Vol. 7, p: 77. <https://doi.org/10.22099/mbrc.2018.29073.1315>
- Oduola, A. O., Obembe, A., Adelaja, O. J. and Ande, A. T., (2016).** Surveillance and insecticide susceptibility status of culicine mosquitoes in selected communities utilizing long-lasting insecticidal nets in Kwara State, Nigeria. Animal Research International. Vol. 13, 2483-2491. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev045>

- Paupy, C., Ollomo, B., Kamgang, B., Moutailler, S., Rousset, D., Demanou, M. and Simard, F., (2010).** Comparative role of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* in the emergence of Dengue and Chikungunya in central Africa. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. Vol. 10, 259-266. <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0005>
- Phillips, S. J. Anderson, R. P. Schapire, R. E., (2006).** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*. Vol. 190, pp: 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Piri Sahragard, H., (2022).** An Estimation of Spatial Distribution Domain of Plant Species Using Artificial Neural Networks in West Rangelands of Taftan. *Desert Ecosystem Engineering*, 5(12), 23-36. <https://sid.ir/paper/200574/en>
- Ponlawat, A., Scott, J. G. and Harrington, L. C., (2005).** Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* across Thailand. *Journal of Medical Entomology*. Vol. 42, pp: 821-825. [https://doi.org/10.1603/0022-2585\(2005\)042\[0821:isoaaa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0022-2585(2005)042[0821:isoaaa]2.0.co;2)
- Pouteau, R, Meyer, J, Y, Taputuarai, R, Stoll, B., (2011),** comparison between GARP model and SVM regression to predict invasive species potential distribution: the case of *Miconia calvescens* on Moorea, French Polynesia, ISRSE, 11 April 2011, Sydney.
- Rasheed, S.B., Boots, M., Frantz, A.C. and Butlin, R.K., (2013).** Population structure of the mosquito *Aedes aegypti* (*Stegomyia aegypti*) in Pakistan. *Medical and veterinary entomology*. Vol. 27, pp: 430-440. DOI: 10.1111/mve.12001
- Reinert, J.F., Harbach, R.E. and Kitching, I.J., 2009.** Phylogeny and classification of tribe Aedini (Diptera: Culicidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*. Vol.157, pp: 700-794. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2009.00570.x>
- Rosilawati, R., Lee, H. L., Nazni, W. A., Nurulhusna, A. H., Roziah, A., MY, M. F. and Ropiah, J., (2017).** Pyrethroid resistance status of *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus) from dengue endemic areas in Peninsular Malaysia. *IJUM Medical Journal Malaysia*. Vol. 16. PMID: 33612731.
- Ryan, S. J., Mundis, S. J., Aguirre, A., Lippi, C. A., Beltrán, E., Heras, F. and Neira, M., (2018).** Phenotypic and genotypic resistance to commonly used insecticides in *Aedes aegypti* among four cities in southern Ecuador. *BioRxiv*, 441360.
- Salehi Vaziri, M.; Mustafavi, A; Poriya Vali, M.; Fazlipour, M.; (2018).** *Aedes* mosquitoes and some diseases transmitted through them, chapter 19 of speech 21, comprehensive book of public health. 3222 pages.
- Sayono, S., Hidayati, A. P. N., Fahri, S., Sumanto, D., Dharmana, E., Hadisaputro, S. and Syafruddin, D., (2016).** Distribution of voltage-gated sodium channel (Nav) alleles among the *Aedes aegypti* populations in central Java Province and its association with resistance to pyrethroid insecticides. *PLoS One*. Vol. 11, e0150577. DOI: 10.1371/journal.pone.0150577
- Seidahmed, O. M., Hassan, S. A., Soghaier, M. A., Siam, H. A., Ahmed, F. T., Elkarsany, M. M. and Sulaiman, S. M., (2012).** Spatial and temporal patterns of dengue transmission along a Red Sea coastline: a longitudinal entomological and serological survey in Port Sudan city. *PLoS Negl Trop Dis*. Vol. 6, e1821. DOI: 10.1371/journal.pntd.0001821
- Simard, F., Nchoutpouen, E., Toto, J. C. and Fontenille, D., (2005).** Geographic distribution and breeding site preference of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Cameroon, Central Africa. *Journal of medical entomology*. Vol. 42, pp: 726-731. DOI: 10.1093/jmedent/42.5.726
- Simmons, C.P., Farrar, J.J., van Vinh Chau, N. and Wills, B., (2012).** Dengue. *New England Journal of Medicine*. Vol. 366, pp: 1423-1432. DOI: 10.1056/NEJMoa2301790
- Shah Areeb Hussain and Ramesh C. Dhiman, (2022).** Distribution Expansion of Dengue Vectors and ClimateChange in IndiaSyed,

- GeoHealth, Vol. 6, Issue 6, pp: 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021GH000477>
- Stockwell, D. (1999).** The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International journal of geographical information science*, 13(2), 143-158.
<https://doi.org/10.1080/136588199241391>
- Suzuki, T., Osei, J. H., Sasaki, S., Adimazoya, M., Appawu, M., Boakye, D. and Dadzie, S., (2016).** Risk of transmission of viral haemorrhagic fevers and the insecticide susceptibility status of *Aedes aegypti* (linnaeus) in some sites in Accra, Ghana. *Ghana medical journal*. Vol. 50, pp: 136-141. PMID: 27752187; PMCID: PMC5044787.
- Tatem, A.J., Hay, S.I. and Rogers, D.J., (2006).** Global traffic and disease vector dispersal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 103, pp: 6242-6247.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0508391103>
- Trewin, B. J., Darbro, J. M., Jansen, C. C., Schellhorn, N. A., Zalucki, M. P., Hurst, T. P. and Devine, G. J., (2017).** The elimination of the dengue vector, *Aedes aegypti*, from Brisbane, Australia: The role of surveillance, larval habitat removal and policy. *PLoS neglected tropical diseases*. Vol. 11, e0005848.
<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005848>
- Waldock, J., Chandra, N.L., Lelieveld, J., Proestos, Y., Michael, E., Christophides, G. and Parham, P.E., (2013).** The role of environmental variables on *Aedes albopictus* biology and chikungunya epidemiology. *Pathogens and global health*. Vol. 107, pp: 224-241.
<https://doi.org/10.1179/2047773213y.0000001000>
- World Health Organization, 2013.** Weekly Epidemiological Record, 2013, vol. 88, 35 [full issue]. *Weekly Epidemiological Record=Relevé épidémiologique hebdomadaire*. Vol. 88, pp: 365-380.
<https://iris.who.int/handle/10665/242114>
- Yue, Y., Sun, J., Liu, X., Ren, D., Liu, Q., Xiao, X., & Lu, L. (2018).** Spatial analysis of dengue fever and exploration of its environmental and socio-economic risk factors using ordinary least squares: A case study in five districts of Guangzhou City, China, *International Journal of Infectious Diseases*, 75, 39-48.
<https://doi.org/10.1016/j.ijid.2018.07.023>
- Zayed, A., Awash, A. A., Esmail, M. A., Al-Mohamadi, H. A., Al-Salwai, M., Al-Jasari, A. and Mnzava, A., (2012).** Detection of Chikungunya virus in *Aedes aegypti* during 2011 outbreak in Al Hodayda, Yemen. *Acta tropica*. Vol. 123, pp: 62-66.
<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2012.03.004>
- Zeidi, A; Zamani, n; Momeni Asl, M.; Kolivand, H; (2013).** introduction of MaxEnt method to assess wildlife habitat in Iran, the first national conference on environment, energy and biological defense, Tehran, <https://civilica.com/doc/265065>