University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Modeling habitat suitability and assessing climate change effects on the distribution of the Mesopotamian spiny-tailed lizard (*Saara loricata*) in Khuzestan Province, Iran

Zahra Pirouzinasab[1] | **Kamran Almasieh**[2]✉

1. Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: pirouzinasab@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: almasieh@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 25 August 2026

Received in revised form 25 September 2026

Accepted 7 October 2026

Keywords:

Distribution of the species,

Future climate scenarios,

Khuzestan Province,

Optimal habitat management.

ABSTRACT

Climate change can have serious impacts on the life of ectothermic reptiles. Species with limited global geographic distributions, such as the Mesopotamian spiny-tailed lizard (*Saara loricata*; hereafter MSTL), are more sensitive to climate change. In the present study, habitat suitability for this lizard in Khuzestan Province was analyzed using the maximum entropy model with 53 occurrence points and 12 environmental variables (climatic and topographic variables, vegetation, soil, rivers, and roads). Furthermore, to investigate the effects of future climate change on the potential distribution of the species, three climate scenarios—SSP126, SSP245, and SSP585—for two future time periods (2021–2040 and 2061–2080) were applied using data from the BCC-CSM2-MR model within the MaxEnt software. The modeling results showed that the average area under the curve (AUC) of the receiver operating characteristic (ROC) for ten replicates was 0.823, demonstrating the model's good accuracy in predicting habitat suitability for the species. Soil, isothermality (BIO3), distance to roads, precipitation of wettest month (BIO13), precipitation of wettest quarter (BIO16), mean temperature of coldest quarter (BIO11), land cover, and digital elevation model had the greatest importance in modeling habitat suitability for the MSTL. Overall, the highest habitat suitability for the species' distribution exists in the northern, central, southeastern, and eastern parts of Khuzestan Province. Additionally, the results of future climate scenarios showed that unsuitable habitat in the southern and central parts of the province, as well as highly suitable habitat in the northern parts, will increase. Consequently, the potential distribution of the species will shift toward higher latitudes and mountainous areas. The findings of the present study, by identifying habitat areas and future climate changes, can be used in conservation planning and optimal habitat management for this valuable species.

Cite this article: Pirouzinasab, Z., & Almasieh, K. (2026). Modeling habitat suitability and assessing climate change effects on the distribution of the Mesopotamian spiny-tailed lizard (*Saara loricata*) in Khuzestan Province, Iran. *Journal of Natural Environment*, *79* (4), 797-813.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.421654.2942

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Climate change is one of the major global challenges, leading to alterations in ecosystems, a reduction in biodiversity, and endangering the survival of various species, especially those highly dependent on climatic conditions. These changes may result in population and distribution decreases and heighten the risk of extinction. Consequently, climate change poses a serious threat to wildlife. Today, conservation biologists utilize modeling and algorithmic predictions as a suitable approach for habitat selection, species conservation, and examining distribution patterns. Algorithms related to these approaches, leveraging spatial data on species occurrence and absence and using Geographic Information Systems, facilitate the selection of suitable habitats. Among these, the Maximum Entropy model is an effective and accurate tool for predicting species distribution. Climate change can affect the life of reptiles (Class Reptilia), which constitute one-third of all terrestrial vertebrate biodiversity. The Mesopotamian spiny-tailed lizard (*Saara loricata* Blanford, 1874) (hereafter, MSTL), with a geographical distribution in eastern Iraq and southwestern Iran, including the provinces of Bushehr, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Khuzestan, Ilam, and Kermanshah, faces habitat destruction and fragmentation, and climate change could have a substantial effect on its distribution. Therefore, the present study was conducted with the objectives of identifying the environmental factors affecting the distribution of suitable habitats for the MSTL in Khuzestan province and determining suitable habitat areas for this species for both current and future periods (2021–2040 and 2061–2080) under various climate scenarios.

Material and Methods

Khuzestan province, as the study area, holds the highest distribution of the MSTL in Iran. Field operations were carried out to record species occurrence points in areas where its establishment was sufficiently confirmed. Fifty-three presence points were collected based on the distribution pattern using a GPS device during field surveys. To reduce spatial autocorrelation among occurrence points, a single occurrence point was selected from points located less than one kilometer apart. This was performed using the Spatially Rarify Occurrence Data Tool within the SDMtoolbox extension in ArcGIS software version 10.8. No presence points were removed, and all 53 independent occurence points were used in habitat suitability modeling. In this study, 12 environmental variables were used, including climatic variables (isothermality [BIO3], mean temperature of coldest quarter [BIO11], precipitation of wettest month [BIO13], precipitation of wettest quarter [BIO16], and precipitation of coldest quarter [BIO19]), topographic variables (digital elevation model, slope, and aspect), land cover, soil, distance to rivers, and distance to roads, with an approximate resolution of one kilometer. MaxEnt software, which optimizes species occurrence probability using species distribution data and environmental variables, was used for habitat suitability modeling of the MSTL. The importance of each variable was assessed using jackknife test, and species response curves to each environmental variable were generated in the MaxEnt model. The area under the curve (AUC) of the receiver operating characteristic (ROC) and true skill statistic (TSS) were used to evaluate model accuracy and performance. For analyzing climate change in the present and future, relevant data were obtained from the BCC-CSM2-MR model under three shared socioeconomic pathways (SSP126, SSP245, and SSP585). Current climate data and future projections for the decades 2021-2040 and 2061-2080 were utilized. Habitat suitability maps derived from predictions of future climate scenarios were compared with the habitat suitability map derived from current climatic variables.

Results

The mean values of AUC and TSS were 0.823 and 0.614 respectively for 10 replicates, indicating adequate model accuracy and good quality for predicting the species' habitat suitability. The results of the jackknife analysis showed that the variables soil, isothermality (BIO3), distance to roads, precipitation of the wettest month (BIO13), precipitation of the wettest quarter (BIO16), mean temperature of the coldest quarter (BIO11), land cover, and digital elevation model had the greatest importance in modeling the habitat suitability of the MSTL. The slope variable contributed the least to the model. Overall, the highest habitat suitability for the distribution of the MSTL is found in the northern part of Khuzestan province. Additionally, areas in the center, southeast, and east of the province

also exhibit high habitat suitability for the species. The spatial pattern of unsuitable habitats for the MSTL in Khuzestan province showed a significant increase under future climate scenarios. Based on climate scenarios, a comparison of the area of habitats with different suitability levels between the present and the future indicated that the area of low, medium, and optimal suitability habitats would decrease in the future. However, an increase in the area of high-suitability habitats is predicted for most scenarios in the future.

Discussion and Conclusion

Soil was the most important factor affecting the distribution of the MSTL in the study area. This species carries out a major part of its biological activities, including nesting and thermoregulation within the soil, and soil characteristics can play a significant role in habitat selection and the survival of this species. The variables isothermality (BIO3) and precipitation of the wettest month (BIO13) are among the most important climatic factors influencing the distribution of the MSTL. The importance of the BIO3 variable indicates that the stability of thermal conditions plays a significant role in the species' habitat selection, as drastic temperature changes can affect the activity, survival, and distribution patterns of reptiles. Furthermore, the importance of the BIO13 variable suggests that increased precipitation during the wettest month of the year can provide more favorable conditions for the species by promoting vegetation growth. Since a considerable portion of this species' diet consists of plants, increased precipitation enhances its presence probability through increased food resources and improved habitat quality. Comparison of future climate scenarios with current conditions showed that under all examined scenarios, the area of unsuitable habitats in Khuzestan province would increase dramatically (more than double). An interesting point is the increase in high-suitability habitats under the influence of future climate change. Overall, the south and center of Khuzestan will be excluded from species habitat suitability areas in the future under climate change, while northern Khuzestan will experience an increase in areas with high habitat suitability. Consequently, a shift in the species' distribution towards higher latitudes and higher altitudes is predicted. Therefore, the results of this study can be used to identify suitable habitats and their changes under effect of climate change, prioritize conservation areas, plan management, and formulate conservation strategies in order to protect this lizard in Khuzestan Province.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

محیط زیست طبیعی

انتشارات دانشگاه تهران

شاپای الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۸۱۷

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

مدل‌سازی تناسب زیستگاه و اثر تغییر اقلیم بر توزیع گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین (*Saara loricata*) در استان خوزستان، ایران

زهرا پیروزی نسب[۱] | کامران الماسیه[۲]✉

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: pirouzinasab@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. رایانامه: almasieh@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۶/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۵

کلیدواژه‌ها:

استان خوزستان،

توزیع گونه،

سناریوهای اقلیمی آینده،

مدیریت بهینهٔ زیستگاه.

چکیده

تغییر اقلیم می‌تواند بر روی حیات خزندگان خونسرد تأثیر جدی بگذارد. گونه‌هایی مانند سوسمار خاردم بین‌النهرین (*Saara loricata*) با توزیع جغرافیایی جهانی محدود، حساسیت بیشتری به تغییر اقلیم دارند. در پژوهش حاضر، تناسب زیستگاه این سوسمار در استان خوزستان با استفاده از مدل بیشینهٔ آنتروپی و با به‌کارگیری ۵۳ نقطهٔ حضور و ۱۲ متغیر محیطی شامل متغیرهای اقلیمی و پستی و بلندی، پوشش گیاهی، خاک، رودخانه و جاده مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین، به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر توزیع بالقوهٔ گونه، سه سناریوی اقلیمی SSP126، SSP245 و SSP585 در دو دورهٔ زمانی آینده شامل ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ میلادی از داده‌های سازمان BCC-CSM2-MR در نرم‌افزار MaxEnt مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی نشان داد که مقدار میانگین سطح زیر منحنی (AUC) ویژگی عامل دریافت کننده (ROC) برای ۱۰ تکرار برابر با ۰/۸۲۳ بود که نشان‌دهندهٔ دقت خوب مدل در پیش‌بینی تناسب زیستگاه گونه است. متغیرهای خاک، ایزوترمالیتی (BIO3)، فاصله از جاده، بارش مرطوب‌ترین ماه (BIO13)، بارش مرطوب‌ترین فصل (BIO16)، میانگین دمای سردترین فصل (BIO11)، پوشش گیاهی و مدل رقومی ارتفاع بیشترین اهمیت را در مدل‌سازی تناسب زیستگاه سوسمار خاردم بین‌النهرین داشتند. به‌طور کلی، بیشترین تناسب زیستگاه برای توزیع گونه در شمال، مرکز، جنوب شرق و شرق استان خوزستان وجود دارد. همچنین، نتایج سناریوهای اقلیمی آینده نشان داد که زیستگاه نامناسب در جنوب و مرکز و زیستگاه با تناسب بالا در شمال استان افزایش خواهد یافت. درنتیجه، توزیع بالقوهٔ گونه به‌سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر و نواحی کوهستانی جابجا خواهد شد. نتایج پژوهش حاضر با شناسایی مناطق زیستگاهی و تغییر اقلیم می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریت بهینه زیستگاه این گونه ارزشمند مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: پیروزی نسب، زهرا؛ و الماسیه، کامران (۱۴۰۵). مدل‌سازی تناسب زیستگاه و اثر تغییر اقلیم بر توزیع گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین (*Saara loricata*) در استان خوزستان، ایران. *محیط زیست طبیعی*، ۷۹ (۴)، ۸۱۳-۷۹۷.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.421654.2942

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

تخریب و تکه‌تکه شدن زیستگاه ناشی از فعالیت‌های انسانی و اثرات تغییر اقلیم به‌عنوان عوامل اصلی کاهش جهانی تنوع زیستی شناخته شده است. اقدام فوری برای مقابله با کاهش جمعیت گونه‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. فوریت این اقدام به عواملی مانند مقیاس، درجهٔ جغرافیایی و سرعت تغییرات جمعیت ناشی از توزیع گونه‌ها، تعامل با سایر گونه‌ها و اثرات غیرمستقیم ناشی از عوامل زیستی و غیر زیستی بستگی دارد (Morris, 2024). تغییر اقلیم یکی از چالش‌های بزرگ جهانی است که منجر به تغییر اکوسیستم‌ها، کاهش تنوع زیستی و به خطر افتادن بقای گونه‌های مختلف به‌ویژه آن دسته از گونه‌هایی که وابستگی زیادی به شرایط آب و هوایی دارند، می‌شود (Xiao *et al.,* 2020). بررسی تهدیدات ناشی از تغییر اقلیم و کاربری زمین نشان داده است که تغییرات کاربری زمین ناشی از تغییر اقلیم همچنان یکی از بزرگترین تهدیدها برای تنوع زیستی در سطح جهان محسوب می‌شود. این تأثیرات اغلب در ارتباط با تغییر اقلیم منجر شده که پوشش طبیعی به مناطق مصنوعی تحت تأثیر افزایش دما در مقیاس محلی تبدیل گردند (Moustakas *et al.,* 2025). بحران اقلیمی با تغییر دمای سالانه، بارش سالانه و تغییرات دمای فصلی رخ می‌دهد. شرایط اقلیمی به‌طور قابل‌توجهی بر پراکندگی گونه‌ها تأثیر می‌گذارد. تغییر در چرخهٔ حیات و عوامل محیطی (دما، بارش و سرعت باد) زیست‌بوم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تغییرات ممکن است منجر به کاهش جمعیت گونه‌ها شده و خطر انقراض آنها را افزایش دهد. در نتیجه، تغییر اقلیم یک تهدید جدی برای حیات وحش محسوب می‌شود (Wang *et al.,* 2025).

امروزه زیست‌شناسان حفاظت برای انتخاب زیستگاه، حفاظت از گونه‌ها و بررسی الگوی توزیع آنها، از مدل‌سازی و پیش‌بینی الگوریتم‌ها به‌عنوان یک راهکار مناسب استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های مرتبط به این رویکردها با بهره‌گیری از اطلاعات مکانی حضور و عدم حضور گونه‌ها و با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS[1])، انتخاب زیستگاه مناسب را فراهم می‌سازند. این رویکرد، یک ابزار قابل اطمینان برای پیش‌بینی زیستگاه و لکه‌های زیستگاهی با تناسب بالا برای توزیع گونه‌ها است (Ahmadpour *et al.,* 2023). در حال حاضر بسیاری از مدل‌ها برای پیش‌بینی توزیع بالقوهٔ گونه‌ها، از جمله تجزیه‌وتحلیل زیست‌اقلیم و سیستم الگوریتم استفاده می‌شوند. در این میان، مدل بیشینهٔ آنتروپی[2] ابزاری مؤثر و دقیق برای پیش‌بینی پراکندگی گونه‌ها است. اصل بیشینهٔ آنتروپی شامل انتخاب مدل با بالاترین آنتروپی تحت محدودیت‌های مشخص از داده‌های وقوع گونه‌ها و عوامل محیطی مانند اقلیم و پستی و بلندی برای شبیه‌سازی توزیع‌های بالقوهٔ حال و آیندهٔ گونه‌ها است (Fu *et al.,* 2024).

با وجود اینکه خزندگان (ردهٔ Reptilia) حدود یک سوم از کل تنوع زیستی مهره‌داران خشکی‌زی را تشکیل می‌دهند، اما پژوهش‌های مرتبط با پیامدهای تغییر اقلیم تاکنون به‌طور عمده بر مهره‌داران خون‌گرم (پستانداران و پرندگان) متمرکز بوده‌اند (Biber *et al.,* 2023). بسیاری از فرآیندهای زیستی خزندگان به‌عنوان جانداران خون‌سرد به شرایط حرارتی محیط وابسته است و تغییر اقلیم به ویژه افزایش دما می‌تواند پیامدهای قابل‌توجهی بر زیست و بقای آنها داشته باشد (Diele-Viegas and Rocha, 2018; Taylor *et al.,* 2021). مطالعات اخیر کاهش توزیع حدود نیمی از خزندگان جهان را در اثر تغییر اقلیم نشان می‌دهند (Li *et al.,* 2024). در میان خزندگان، مارمولک‌ها (سوسمارها از زیرراستهٔ Sauria) به‌دلیل توانایی انتشار اندک و نیازمندی‌های زیستگاهی و اقلیمی محدود در اثر تغییر اقلیم با انقراض‌های محلی و جهانی مواجه هستند (Kechnebbou *et al.,* 2021).

سوسمار خاردم بین‌النهرین (*Saara loricata* Blanford, 1874) یک خزندهٔ خشکی‌زی تخمگذار از راستهٔ اسکواماتا (Squamata) و خانوادهٔ آگامیده (Agamidae) محسوب می‌شود. این گونه در گذشته با نام‌های مترادف *Uromastyx loricota* و *Centrotrachelus loricatus* نیز شناخته شده است. توزیع جغرافیایی این گونه در شرق عراق و جنوب غربی ایران شامل استان‌های بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، ایلام و کرمانشاه در محدودهٔ ارتفاع صفر تا ۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (Mozaffari *et al.,* 2013). این گونه به‌طور عمده در زیستگاه‌هایی با دشت‌های مسطح و دره‌هایی با پوشش گیاهی پراکنده زیست می‌کند. براساس ارزیابی فهرست سرخ اتحادیهٔ بین‌المللی حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی (IUCN[3]) این گونه در وضعیت

[1]Geographic Information System

[2]Maximum Entropy

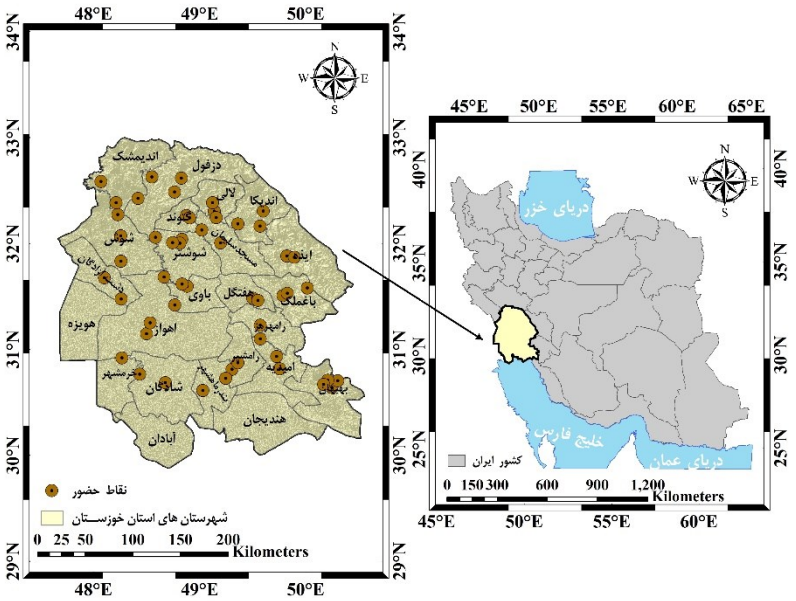
[3]International Union for Conservation of Natural resources.

کمترین نگرانی جهانی (LC[۴]) قرار دارد (Papenfuss *et al.,* 2009). با این حال، در پیوست II کنوانسیون بین‌المللی منع تجارت گونه‌های در خطر انقراض گیاهی و جانوری جهانی (CITES[۵]) قرار می‌گیرد (CITES, 2026). تخریب و تکه‌تکه شدن زیستگاه در اثر احداث جاده، تبدیل زمین‌های طبیعی به کاربری‌های کشاورزی و کشت درخت خرما، استخراج نفت و گاز و چرای مفرط دام از عوامل تهدید این گونه در جنوب غرب ایران هستند (Nazari-Serenjeh and Torki, 2017). گونه‌هایی مانند سوسمار خاردم بین‌النهرین با توزیع جغرافیایی جهانی محدود (مرز ایران و عراق)، حساسیت بیشتری به تغییر اقلیم دارند (Kechnebbou *et al.,* 2021). تحت سناریوهای آینده تغییر اقلیم، پایش مستمر جمعیت‌ها و بروزرسانی مدل‌های پیش‌بینی با استفاده از داده‌های به‌روز شده، می‌تواند به مسئولان و تصمیم‌گیران در شناسایی تغییرات احتمالی توزیع گونه و تدوین راهبردهای حفاظتی مؤثر کمک کند. اجرای این اقدامات می‌تواند در حفاظت بلند مدت از این سوسمار و کاهش پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم و حفظ تنوع زیستی منطقه، مؤثر باشد. بنابراین، مطالعهٔ حاضر با اهداف شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر توزیع زیستگاه‌های مناسب برای سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان و تعیین نواحی مناسب زیستگاهی برای این گونه در دو بازهٔ زمانی حال و آینده (۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) تحت سناریوهای اقلیمی مختلف انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه و عملیات میدانی: استان خوزستان، به‌عنوان یکی از استان‌های جنوب غربی ایران، با ویژگی‌های اقلیمی خاصی همچون میانگین بارندگی سالانهٔ محدود و دمای بالای تابستانی شناخته می‌شود. از نظر پوشش گیاهی این استان، تنوع قابل توجهی دارد (Qashqaei *et al*., 2023). استان خوزستان، با توجه به تنوع زیستگاه‌های دشت‌های بین‌النهرین، مناطق ماسه‌ای و نواحی کوهستانی زاگرس، از پراکنش قابل‌توجهی از زیرراستهٔ سوسمارها برخوردار است. از گونه‌های شاخص این زیرراسته در استان می‌توان به *Phrynocephalus arabicus*، *Trapelus agilis*، *Bunopus tuberculatus*، *Diplometopon zarudnyi*، *Scincus scincus*، *Asaccus nasrullahi* و *Acanthodactylus schmidti* ، *Saara loricata* و *Varanus griseus* اشاره کرد (Safaei-Mahroo *et al.,* 2015). عملیات میدانی برای بررسی فعالیت سوسمار خاردم بین‌النهرین و شناسایی لانه‌ها در ساعات مختلف روز، از آبان ۱۴۰۲ تا آبان ۱۴۰۳ توسط نویسندگان این مطالعه انجام شد. سپس، حضور گونه در مناطقی که اطمینان کافی از استقرار آن وجود داشت، مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی‌ها در مسیرهایی با فاصلهٔ ۵۰۰–۲۰۰ متر از یکدیگر انجام شد و اطلاعات مربوط به حضور گونه ثبت گردید (Kafash *et al.,* 2014b). با توجه به اینکه توزیع این گونه یکنواخت نیست، در این روش تمامی قسمت‌های زیستگاهی مورد بررسی قرار گرفت تا اطلاع جامعی از توزیع گونه به‌دست آید (Mohammadi Aloucheh *et al.,* 2010). یک فرد از گونه، دو ساعت پس از طلوع خورشید در صحرای سنگی در شرایطی که دمای هوا ۲۹ درجهٔ سلسیوس بود، یافت شد. تعداد ۵۳ نقطهٔ حضور گونه در جریان بررسی‌های میدانی و با استفاده از دستگاه GPS توسط نویسندگان این مطالعه گردآوری و ثبت شد. (شکل ۱). برای کاهش خودهمبستگی مکانی نقاط حضور گونه، میان نقاط حضور که فاصله کمتر از یک کیلومتر داشتند یک نقطهٔ حضور انتخاب شد. این‌کار با ابزار Spatially Rarify Occurrence Data Tool در افزونهٔ SDMtoolbox در نرم‌افزار ArcGIS نسخهٔ ۱۰/۸ انجام شد (Brown, 2014). هیچکدام از نقاط حضور حذف نگردید و ۵۳ نقطهٔ حضور مستقل گونه در مدل‌سازی تناسب زیستگاه استفاده شد (شکل ۱).

[4]Least Concern
[5]the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خوزستان به‌همراه نقاط حضور گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین گردآوری شده توسط نویسندگان
Figure 1. The geographical location of Khuzestan Province along with the occurrence points of the Mesopotamian spiny-tailed lizard species collected by the authors

انتخاب متغیرهای محیطی: در این پژوهش از ۱۹ متغیر اقلیمی در بازه‌های زمانی مختلف برای شرایط آب و هوایی فعلی و آینده استفاده شد. این متغیرها از پایگاه دادهٔ Worldclim (http://www.worldclim.org) با وضوح فضایی ۳۰ ثانیه (تقریباً معادل یک کیلومتر از سطح زمین) استخراج گردیدند (Fick and Hijmans, 2017). داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM[۶]) محصول SRTM[۷] با قدرت تفکیک مکانی حدود ۱ کیلومتر از پایگاه USGS EarthExplorer دریافت شد (Farr *et al.*, 2007). سپس سایر متغیرهای پستی و بلندی شامل شیب و جهت جغرافیایی از مدل رقومی ارتفاع استخراج شدند. لایهٔ پوشش زمین[۸] محصول ESA WorldCover 10 m 2021 v 200 تهیه شد. این محصول بر پایهٔ داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای Sentinel-1 و Sentinel-2با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر تولید شده است (Zanaga *et al.*, 2022). به‌منظور افزایش قابلیت تفسیر بوم‌شناختی و متناسب‌سازی طبقات پوشش اراضی با الزامات مدل‌سازی پراکنش گونه، طبقات اولیه این محصول در محیط GIS با استفاده از ابزار Reclassify مجدداً طبقه‌بندی شدند. در این فرآیند، طبقات مشابه از نظر شرایط محیطی و ویژگی‌های پوشش سطح زمین با یکدیگر ادغام شده و لایهٔ نهایی پوشش اراضی در قالب ۹ طبقه تهیه گردید. لایهٔ تیپ خاک از پایگاه Harmonized World Soil Database (HWSD v2.0)، توسعه یافته توسط سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) و مؤسسهٔ بین‌المللی تحلیل سازمان‌های کاربردی IIASA، با قدرت تفکیک مکانی حدود ۱ کیلومتر تهیه شد (FAO and IIASA, 2023). داده‌های شبکه رودخانه‌ها از پایگاه جهانی HydroRIVERS دریافت شد (Lehner and Grill, 2013). لایهٔ جاده از پایگاه داده (OSM) OpenStreetMap تهیه و برای محاسبهٔ فاصله از جاده، مورد استفاده قرار گرفت (Barrington-Leigh and Millard-Ball, 2017). پس از استخراج محدودهٔ مطالعه، فاصله هر سلول از نزدیک‌ترین رودخانه و جاده با استفاده از ابزار Euclidean Distance در محیط ArcGIS محاسبه شد. به‌منظور کنترل همبستگی بین متغیرها، از ضریب همبستگی $|r| \leq 0.70$ به‌عنوان آستانه بهره گرفته شد. در نهایت، ۱۲ متغیر محیطی اقلیمی با مقدار $VIF \leq 10$ که با توزیع و تناسب زیستگاه گونه مرتبط بودند برای مدل‌سازی تناسب زیستگاه حفظ گردید (Aligaz *et al.*, 2024) (جدول ۱).

[6]Digital Elevation Model
[7]Shuttle Radar Topography Mission
[8] Land Cover

جدول ۱- متغیرهای محیطی نهایی استفاده شده برای پیش‌بینی توزیع گونه سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان
Table 1. Final environmental variables used to predict the distribution of the Mesopotamian spiny-tailed lizard species in Khuzestan Province

نام متغیر محیط‌زیستی	نام اختصاری در مدل‌سازی	واحد
ایزوترمالیتی (BIO2/BIO7)(*100)	BIO3	-
میانگین دمای سردترین فصل	BIO11	درجهٔ سلسیوس
بارش مرطوب ترین ماه	BIO13	میلی‌متر
بارش مرطوب‌ترین فصل	BIO16	میلی‌متر
بارش سردترین فصل	BIO19	میلی تر
مدل رقومی ارتفاع	DEM	متر
شیب	Slope	درجه
جهت	Aspect	درجه
پوشش زمین	Land Cover	-
خاک	Soil	-
فاصله از رودخانه	River	متر
فاصله از جاده	Road	متر

شبیه‌سازی مدل MaxEnt: از نرم‌افزار MaxEnt نسخهٔ ۳,۴,۱ (Phillips and Dudik, 2008) به‌عنوان ابزاری گسترده، با دقت بالا و عملکرد قوی برای مدل‌سازی توزیع سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان استفاده شد. این نرم‌افزار با استفاده از روش بیشینهٔ آنتروپی، توزیع احتمال حضور گونه را با بهره‌گیری از داده‌های توزیع گونه و متغیرهای محیطی بهینه‌سازی می‌کند. نتایج حاصل از آزمون جک‌نایف دارای قابلیت تفسیر بالایی بوده و اطلاعات ارزشمندی در خصوص توزیع گونه و تناسب زیستگاه ارائه می دهد (Tarekegn *et al.,* 2025). از تعداد ۵۰۰ نقطهٔ شبه‌عدم حضور (حدود ده برابر تعداد نقاط حضور) استفاده شد (Kaboodvandpour *et al*., 2021) و به‌دلیل تعداد پایین نقاط حضور از linear, quadratic, and hinge features به‌جای all-feature در مدل MaxEnt استفاده شد (Almasieh *et al.,* 2019). داده‌های محیطی مربوط به نقاط حضورگونه نیز وارد مدل‌سازی شد و برای ایجاد مدل اولیه ٪۷۵ از داده‌ها به‌صورت تصادفی به‌عنوان داده‌های تعلیمی و ٪۲۵ به‌عنوان نقاط توزیع آزمایشی مورد استفاده قرار گرفتند (Wei *et al.,* 2023). اهمیت هر متغیر با استفاده از نمودار جک‌نایف ارزیابی گردید و تحلیل حساسیت هر متغیر با بهره‌گیری از خروجی رگرسیون لجستیک انجام شد (Fu *et al.,* 2024). منحنی‌های پاسخ گونه به هریک از متغیرهای محیطی در مدل MaxEnt ترسیم شد (Luo *et al.,* 2024). تناسب یک زیستگاه برای گونه بین مقادیر ۰ تا ۱ است که هر چه مقدار بیشتر باشد گونه سازگاری بیشتری با زیستگاه دارد. نقشهٔ خروجی مدل مکسنت با استفاده از ابزار Reclassify مجدداً در نرم‌افزار ArcGIS به پنج سطح زیستگاه با تناسب بالا (۱-۰/۸)، زیستگاه با تناسب بهینه (۰/۸-۰/۶)، زیستگاه با تناسب متوسط (۰/۶-۰/۴)، زیستگاه با تناسب پایین (۰/۴-۰/۲) و زیستگاه نامناسب (۰/۲-۰) تقسیم شد. از میانگین سطح زیر منحنی (AUC[۹]) ویژگی عامل دریافت‌کننده (ROC[۱۰]) ۱۰ تکرار برای ارزیابی دقت و پردازش مدل استفاده شد. همچنین، از میانگین آمارهٔ مهارت واقعی (TSS[۱۱]) (Allouche *et al.,* 2006) و میانگین شاخص بویس[۱۲] (Hirzel *et al*., 2006) به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل و میزان انطباق پیش‌بینی‌های آن با نقاط حضور گونه، استفاده شد. مقدار TSS از مجموع حساسیت[۱۳] و ویژگی[۱۴] منهای عدد یک و شاخص بویس براساس نسبت فراوانی مشاهده‌شده به فراوانی مورد انتظار نقاط حضور در دامنه‌های مختلف تناسب زیستگاه

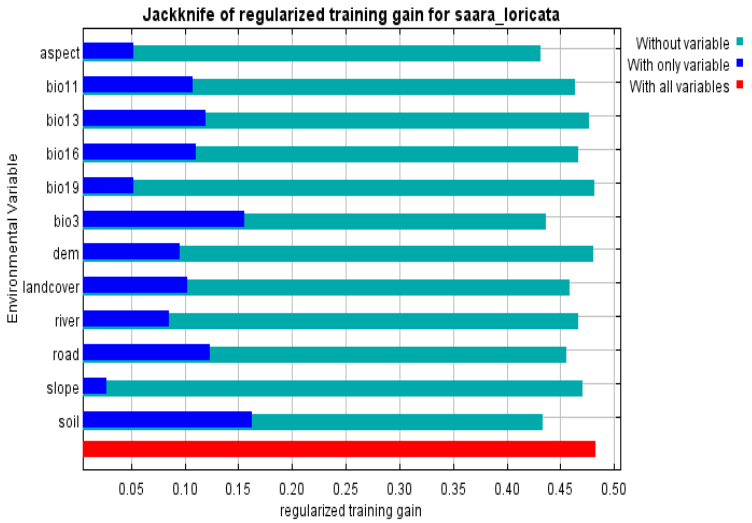
[9]Area under the Curve
[10]Receiver Operating Characteristic
[11]True Skill Statistic
[12]Boyce Index
[13]Sensitivity
[14]Specificity

محاسبه شد. مقادیر AUC بین ۰/۸ تا ۰/۹ نشان‌دهندهٔ عملکرد خوب و مقادیر بین ۰/۹ تا ۱ پیش‌بینی عملکرد عالی (Wang *et al.*, 2024) و همچنین، مقادیر TSS بین ۰/۶ تا ۰/۸ نشان‌دهندهٔ عملکرد خوب و مقادیر بین ۰/۸ تا ۱ پیش‌بینی عملکرد عالی را نشان می‌دهد (Li *et al.*, 2023). در نهایت مقادیر نزدیک به عدد یک شاخص بویس، تمایز کارآمد مناطق مناسب برای گونه‌ها را نشان می‌دهد (da Silveira and Marchioro, 2026).

تحلیل تغییر اقلیم و سناریوهای اقلیمی آینده: برای تحلیل تغییر اقلیم در زمان‌های حال و آینده، داده‌های مرتبط از سازمان BCC-CSM2-MR از مجموعه مدل‌های اقلیمی فاز ششم پروژهٔ مقایسهٔ متقابل مدل‌های جفت شده (CMIP6[15]) برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده و تحت سه مسیر اجتماعی–اقتصادی مشترک (SSP126، SSP245 و SSP585) که همگی با وضوح فضایی ۳۰ ثانیه بودند، استفاده شد (Yao *et al.*, 2024). این مدل در مطالعات ارزیابی مدل‌های CMIP6، در میان مدل‌های اقلیمی با عملکرد مناسب در ایران قرار گرفته است (Hosseinpour *et al.*, 2025). پیش‌بینی داده‌های آب و هوایی حال و پیش‌بینی آینده در دهه‌های ۲۰۴۰–۲۰۲۱ و ۲۰۸۰–۲۰۶۱ مورد استفاده قرار گرفتند (Liu *et al.*, 2024). در این پژوهش، سناریوی SSP126 به‌عنوان انتشار پایین گازهای گلخانه‌ای، فرض شده که تا سال ۲۰۲۵ منجر به افزایش دمای سطح زمین تا حدود ۱/۷ درجه سلسیوس خواهد شد. در مقابل، سناریوی SSP585 بیانگر انتشار بسیار بالای گازهای گلخانه‌ای بوده که پیش‌بینی می‌شود در بازهٔ زمانی ۲۰۸۰–۲۰۶۱ براساس مدل گردش جهانی (GCM) دمای جهانی را تا حدود ۲/۴ درجهٔ سلسیوس افزایش خواهد یافت (Aravind *et al.*, 2024). نقشه‌های تناسب زیستگاه حاصل از پیش‌بینی سناریوهای اقلیمی آینده با نقشهٔ تناسب زیستگاه حاصل از متغیرهای اقلیمی زمان حال مقایسه گردید.

یافته‌های پژوهش

تحلیل صحت مدل و ارزیابی سهم متغیرهای محیطی: مقدار میانگین AUC برابر با ۰/۸۲۳ و مقدار میانگین TSS برابر با ۰/۶۱۴ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ دقت مناسب مدل و کیفیت خوب آن برای پیش‌بینی تناسب زیستگاه گونه است. همچنین، مقدار شاخص بویس برابر با ۰/۹۶۶ به‌دست آمد که کارآمدی بالای مدل برای تمایز مناطق مناسب گونه را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل جک‌نایف نشان داد که متغیرهای خاک، ایزوترمالیتی (BIO3)، فاصله از جاده، بارش مرطوب‌ترین ماه (BIO13)، بارش مرطوب‌ترین فصل (BIO16)، میانگین دمای سردترین فصل (BIO11)، پوشش زمین و مدل رقومی ارتفاع بیشترین اهمیت را در مدل‌سازی تناسب زیستگاه سوسمار خاردم بین‌النهرین داشتند. همچنین، متغیر شیب کمترین سهم را در مدل به‌خود اختصاص داد (شکل ۲).

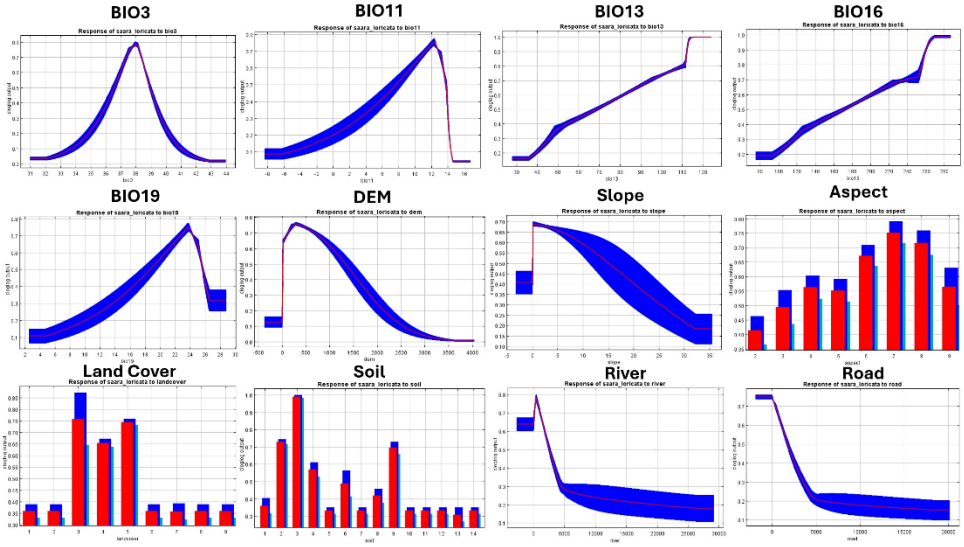


شکل ۲-آزمون جک‌نایف تأثیر متغیرها بر توزیع گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان

[15]Sixth Phase of the Coupled Model Intercomparison Project

Figure 2. Jackknife test of the effect of variables on the distribution of the Mesopotamian spiny-tailed lizard species in Khuzestan Province

منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی: منحنی پاسخ به‌عنوان یکی از خروجی‌های مدل MaxEnt، پاسخ گونه را نسبت به شاخص‌های محیط‌زیستی نشان می‌دهد. در متغیرهای اقلیمی با افزایش ایزوترمالیتی (BIO3) تا حدود ۳۸، میزان حضور گونه افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. با افزایش بارش مرطوب‌ترین ماه (BIO13) و مرطوب‌ترین فصل (BIO16)، میزان حضور گونه افزایش می‌یابد. با افزایش میانگین دمای سردترین فصل (BIO11) تا حدود ۱۳ درجهٔ سلسیوس، میزان حضور گونه افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در نهایت، با افزایش بارش سردترین فصل (BIO19) تا حدود ۲۴ میلی‌متر، میزان حضور گونه افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در متغیرهای پستی و بلندی با افزایش ارتفاع تا حدود ۴۰۰ متر، میزان حضور گونه افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. با افزایش شیب، میزان حضور گونه کاهش می‌یابد. بیشترین میزان حضور گونه در طبقات ۶ (دامنه‌های جنوبی)، ۷ (دامنه‌های جنوب غربی) و ۸ (دامنه‌های غربی) جهت مشاهده شد، در حالی‌که کمترین احتمال حضور گونه در طبقهٔ ۲ (دامنه‌های شمالی) به‌دست آمد. میزان حضور گونه در طبقات ۳ (بوته‌زار)، ۴ (علفزار) و ۵ (زمین‌های کشاورزی) پوشش زمین بیشتر و در سایر طبقات کمتر است. بیشترین میزان حضور گونه در طبقات ۲ (رگوسل[۱۶])، ۳ (زروسل[۱۷]) و ۹ (یرموسل[۱۸]) خاک مشاهده شد. در نهایت، با افزایش فاصله از رودخانه و جاده، میزان حضور گونه کاهش می‌یابد (شکل ۳).

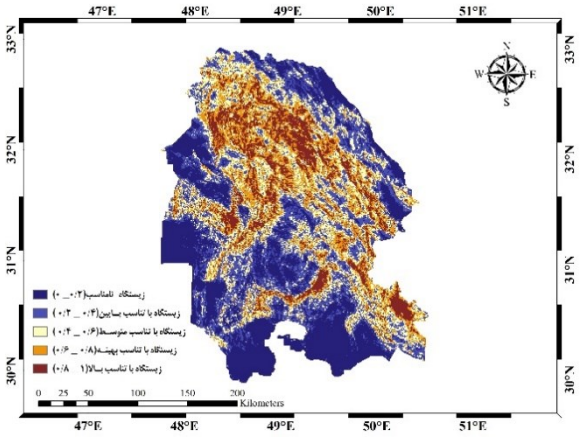


شکل ۳-منحنی‌های پاسخ حضور گونه به متغیرهای محیطی در مدل‌سازی تناسب زیستگاه سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان

Figure 3. Response curves of species occurrence to environmental variables in habitat suitability modeling of the Mesopotamian spiny-tailed lizard in Khuzestan Province

مدل‌سازی تناسب زیستگاه: به‌طور کلی بیشترین تناسب زیستگاه برای توزیع گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین در شمال استان خوزستان وجود دارد. همچنین مناطقی از مرکز، جنوب شرق و شرق استان دارای تناسب بالای زیستگاهی برای گونه هستند (شکل ۴). در نقشهٔ تولید شدهٔ این مدل، شیب تناسب به طرف رنگ‌های گرم متمایل می‌کند. بدین‌معنی که با حرکت به‌سمت رنگ قرمز نشان‌دهندهٔ احتمال بالای زیستگاه برای شرایط گونه که تناسب بیشتری دارد و با حرکت به‌سمت رنگ آبی احتمال پایینی و تناسب کمتری در نظر گرفته می‌شود.

[16]Regosol
[17]Xerosol
[18]Yermosol



شکل ٤- پیش‌بینی تناسب زیستگاه توزیع گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان

Figure 4. Prediction of habitat suitability for the distribution of the Mesopotamian spiny-tailed lizard species in Khuzestan Province

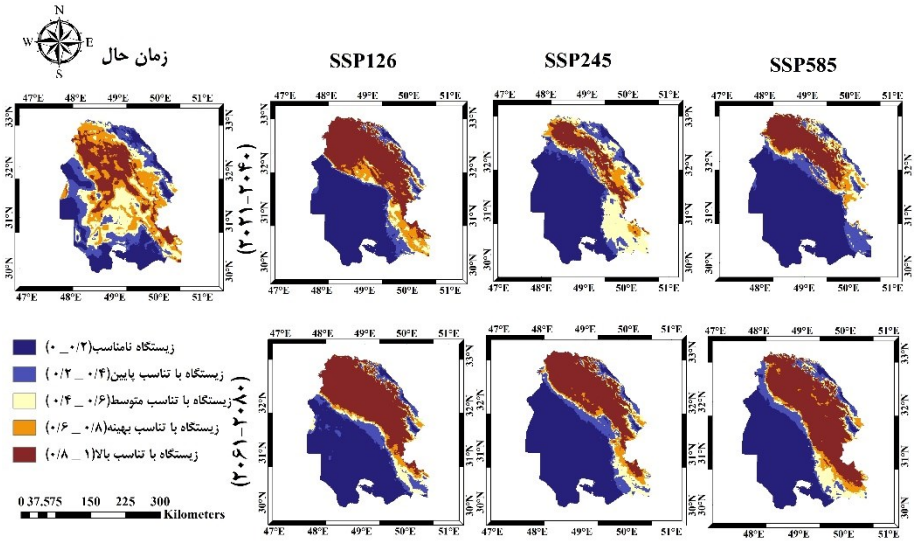
تغییرات تناسب زیستگاه در شرایط اقلیمی آینده: الگوی مکانی زیستگاه نامناسب سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان در سناریوهای اقلیمی آینده افزایش قابل‌توجهی را نشان داد (جدول ۲، شکل ۵). در بازهٔ زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱، براساس سناریوی SSP126، مقایسهٔ مساحت زیستگاه‌های نامناسب بین زمان حال و آینده نشان داد که مساحت زیستگاه‌های نامناسب معادل ۱۶۰۹۹/۳ کیلومتر مربع (۱۳۰/۷۴ درصد) در زمان آینده افزایش می‌یابد. این رقم برای سناریوی SSP245 معادل ۱۹۹۰۵/۸۷ کیلومتر مربع (۱۶۱/۶۵ درصد) و برای سناریوی SSP585 معادل ۲۴۴۶۴/۲۱ کیلومتر مربع (۱۹۸/۶۷ درصد) افزایش بود. براساس سناریوی SSP126، مقایسهٔ مساحت زیستگاه‌های با تناسب‌های مختلف بین زمان حال و آینده نشان داد که مساحت زیستگاه‌های با تناسب پایین معادل ۵۹۸۲/۳ کیلومتر مربع (۵۴/۵۲ درصد)، زیستگاه‌های با تناسب متوسط معادل ۹۹۴۶/۵ کیلومتر مربع (۷۱/۰۳ درصد) و زیستگاه‌های با تناسب بهینه معادل ۸۹۵۸/۲۹ کیلومتر مربع (۶۲/۳۷ درصد) در زمان آینده کاهش می‌یابد. در حالی‌که، برای مساحت زیستگاه‌های با تناسب بالا معادل ۸۷۸۷/۷۸ کیلومتر مربع (۷۸/۸۸ درصد) در زمان آینده افزایش پیش‌بینی می‌شود. براساس سناریوی SSP245، مساحت زیستگاه‌های با تناسب پایین معادل ۳۷۰۱/۲۳ کیلومتر مربع (۳۳/۷۳ درصد)، زیستگاه‌های با تناسب متوسط معادل ۲۴۲۳/۵۴ کیلومتر مربع (۱۷/۳ درصد) و زیستگاه‌های با تناسب بهینه معادل ۹۹۱۰/۸۸ کیلومتر مربع (۶۹/۰۱ درصد) در زمان آینده کاهش می‌یابد. همچنین، برای مساحت زیستگاه‌های با تناسب بالا معادل ۳۸۷۰/۲۳ کیلومتر مربع (۳۴/۷۴ درصد) کاهش پیش‌بینی می‌شود. در نهایت، براساس سناریوی SSP585، مساحت زیستگاه‌های با تناسب پایین معادل ۳۶۵۳/۴۹ کیلومتر مربع (۳۳/۲۹ درصد)، زیستگاه‌های با تناسب متوسط معادل ۹۵۶۰/۷۶ کیلومتر مربع (۶۸/۲۷ درصد) و زیستگاه‌های با تناسب بهینه معادل ۱۰۸۸۳/۹۳ کیلومتر مربع (۷۵/۷۸ درصد) در زمان آینده کاهش می‌یابد. همچنین، برای مساحت زیستگاه‌های با تناسب بالا معادل ۳۶۶/۰۳ کیلومتر مربع (۳/۲۸ درصد) کاهش پیش‌بینی می‌شود.

در بازهٔ زمانی ۲۰۸۰-۲۰۶۱، براساس سناریوی SSP126، مقایسهٔ مساحت زیستگاه‌های نامناسب بین زمان حال و آینده نشان داد که مساحت زیستگاه‌های نامناسب معادل ۱۵۹۴۳/۱۹ کیلومتر مربع (۱۲۹/۴۷ درصد) در زمان آینده افزایش می‌یابد. این رقم برای سناریوی SSP245 معادل ۲۰۱۸۶/۲۷ کیلومتر مربع (۱۶۳/۹۳ درصد) افزایش و برای سناریوی SSP585 معادل ۱۳۸۳۳/۴ کیلومتر مربع (۱۱۲/۳۳ درصد) افزایش بود. براساس سناریوی SSP126، مساحت زیستگاه‌های با تناسب پایین معادل ۴۹۴۷/۸۶ کیلومتر مربع (۴۵/۰۹ درصد)، زیستگاه‌های با تناسب متوسط معادل ۹۹۵۳/۳۲ کیلومتر مربع (۷۱/۰۸ درصد) و زیستگاه‌های با تناسب بهینه معادل ۱۱۵۰۰/۸ کیلومتر مربع (۸۰/۰۸ درصد) کاهش می‌یابد. درحالی‌که، برای مساحت زیستگاه‌های با تناسب بالا معادل ۱۰۴۵۸/۷۹ کیلومتر مربع (۹۳/۸۸ درصد) افزایش پیش‌بینی می‌شود. براساس سناریوی SSP245، مساحت زیستگاه‌های با تناسب پایین معادل ۴۸۷۳/۵۹ کیلومتر مربع (۴۴/۴۱ درصد)، زیستگاه‌های با تناسب متوسط معادل ۹۵۷۲/۱۳ کیلومتر مربع (۶۸/۳۶ درصد) و زیستگاه‌های با تناسب بهینه معادل ۱۰۸۴۶/۸ کیلومتر مربع (۷۵/۵۳ درصد) کاهش می‌یابد. درحالی‌که، برای زیستگاه‌های با تناسب بالا معادل ۵۱۰۶/۲۵ کیلومتر مربع (۴۵/۸۳ درصد) افزایش پیش‌بینی می‌شود. در نهایت، براساس سناریوی SSP585،

مساحت زیستگاه‌های با تناسب پایین معادل ۵۲۹۸/۷۳ کیلومتر مربع (۴۸/۲۹ درصد)، زیستگاه‌های با تناسب متوسط معادل ۸۸۱۶/۸۵ کیلومتر مربع (۶۲/۹۶ درصد) و زیستگاه‌های با تناسب بهینه معادل ۱۰۴۰۲/۷۱ کیلومتر مربع (۷۲/۴۳ درصد) کاهش می‌یابد. درحالی‌که، برای مساحت زیستگاه‌های با تناسب بالا معادل ۱۰۶۸۴/۶۲ کیلومتر مربع (۹۵/۹۱ درصد) افزایش پیش‌بینی می‌شود.

جدول ۲- بررسی تغییرات توزیع گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین در سطح استان خوزستان براساس شرایط اقلیمی حال و آینده
Table 2. Assessment of changes in the distribution of the Mesopotamian spiny-tailed lizard species across Khuzestan Province based on current and future climatic conditions

بازهٔ زمانی	سناریوهای تغییر اقلیم	زیستگاه نامناسب	زیستگاه با تناسب پایین	زیستگاه با تناسب متوسط	زیستگاه با تناسب بهینه	زیستگاه با تناسب بالا	مجموع مساحت زیستگاه با تناسب پایین تا بالا
زمان حال	-	12313.95	10972.59	14002.39	14360.84	11140.07	50475.89
2021-2040	SSP126	28413.25	4990.29	4055.89	5402.55	19927.85	34376.58
	SSP245	32219.82	7271.36	11578.85	4449.96	7269.84	30570.01
	SSP585	36778.16	7319.10	4441.63	3476.91	10774.04	26011.68
2061-2080	SSP126	28257.14	6024.73	4049.07	2860.04	21598.86	34532.70
	SSP245	32500.22	6099.00	4430.26	3514.04	16246.32	30289.62
	SSP585	26147.35	5673.86	5185.81	3958.13	21824.69	36642.49



شکل ۵- تناسب زیستگاه گونهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان در زمان حال و سناریوهای اقلیمی آینده
Figure 5. Habitat suitability of the Mesopotamian spiny-tailed lizard species in Khuzestan Province under current conditions and future climate scenarios

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، مدل MaxEnt برای پیش‌بینی توزیع بالقوهٔ سوسمار خاردم بین‌النهرین به‌کار گرفته شد و عملکرد خوب و قدرت تفکیک مناسب مدل در پیش‌بینی زیستگاه‌های مناسب گونه با نتایج پژوهش‌های Kafash و همکاران (۲۰۱۴a) و Behbehani (۲۰۲۴) که کارایی بالای مدل MaxEnt را در پیش‌بینی توزیع گونه‌های به‌ترتیب سوسمار خاردم بین‌النهرین در ایران و سوسمار خاردم مصری (*Uromastyx aegyptia microlepis*) در کویت گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. مدل MaxEnt به‌دلیل توانایی پیش‌بینی مناسب بر پایهٔ داده‌های حضور و عملکرد مطلوب حتی در شرایط محدود بودن نقاط حضور، به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های مدل‌سازی توزیع گونه‌های خزنده شناخته می‌شود (Almasieh *et al.*, 2019).

براساس نتایج آزمون جک‌نایف، خاک مهم‌ترین عامل مؤثر بر توزیع سوسمار خاردم بین‌النهرین در منطقهٔ مورد مطالعه بود و بیشترین احتمال حضور گونه در طبقات رگوسل، زروسل و یرموسل مشاهده شد. این گروه‌های خاک عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک پراکنش دارند و شرایط مناسبی برای فعالیت گونه‌های خزنده فراهم می‌کنند. سوسمار خاردم بین‌النهرین بخش عمده‌ای از فعالیت‌های زیستی خود از جمله لانه‌سازی و تنظیم حرارت را در داخل خاک انجام می‌دهد و ویژگی‌های خاک می‌تواند نقش مهمی در انتخاب زیستگاه و بقای این گونه داشته باشد. یافتهٔ مطالعهٔ حاضر با نتایج Kafash و همکاران (۲۰۱۴b) که بر اهمیت ویژگی‌های بستر در انتخاب محل لانهٔ این گونه در منطقهٔ حفاظت شدهٔ میش‌داغ استان خوزستان تأکید کرده‌اند، همخوانی دارد. نتایج مدل نشان داد که متغیرهای ایزوترمالیتی (BIO3) و بارش مرطوب‌ترین ماه (BIO13) از مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر توزیع سوسمار خاردم بین‌النهرین هستند. اهمیت متغیر BIO3 نشان می‌دهد که پایداری شرایط حرارتی نقش مهمی در انتخاب زیستگاه این گونه دارد، زیرا تغییرات شدید دما می‌تواند بر فعالیت، بقا و الگوی توزیع خزندگان تأثیر بگذارد؛ موضوعی که در مطالعات پیشین (Kafash *et al.,* 2014a) نیز گزارش شده است. همچنین، اهمیت متغیر BIO13 بیانگر آن است که افزایش بارش در مرطوب‌ترین ماه سال می‌تواند با افزایش رشد پوشش گیاهی، شرایط مناسب‌تری برای زیست گونه فراهم کند. از آنجا که بخش قابل‌توجهی از رژیم غذایی گونه مذکور را گیاهان تشکیل می‌دهند، افزایش بارش از طریق افزایش منابع غذایی و بهبود کیفیت زیستگاه، احتمال حضور این گونه را افزایش می‌دهد (Qashqaei *et al.,* 2023). متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی به‌عنوان متغیرهای مهم در تناسب زیستگاه سوسمار خاردم مصری در کویت نیز شناسایی شدند (Behbehani, 2024). علاوه بر خاک، متغیرهای پستی و بلندی نظیر ارتفاع نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در توزیع گونه ایفا می‌کنند. این عوامل از طریق کنترل دما و میزان تابش انرژی خورشیدی، ریزاقلیم لازم برای رفتار تنظیم حرارتی خزنده را فراهم می‌آورند. همان‌طور که در مطالعهٔ Wang و همکاران (۲۰۲۵) اشاره شده است، مدل‌سازی دقیق توزیع گونه‌ها نیازمند در نظر گرفتن بر همکنش پیچیدهٔ عوامل اقلیمی و پستی و بلندی است، چرا که تغییر در هر یک از این پارامترها می‌تواند مرزهای زیستگاه‌های مطلوب را در آینده تغییر دهد. در مورد سوسمار خاردم بین‌النهرین، این متغیرها تعیین‌کنندهٔ دسترسی به نقاط مناسب برای آفتاب‌گیری و پناهگاه‌های حرارتی هستند که در نهایت بر ساختار جمعیت گونه تأثیر می‌گذارند (Kafash *et al.,* 2014b). ارتفاع ۳۸۲ متر از سطح دریا به‌عنوان حد بالایی لانه‌های فعال گونه تشخیص داده شده (Ghaedi *et al.,* 2021) که با منحنی پاسخ گونه به ارتفاع در مطالعهٔ حاضر همخوانی دارد. ارتفاع به‌عنوان مهمترین متغیر در مدل‌سازی تناسب زیستگاه گونهٔ سوسمار خاردم عربی در کویت شناسایی شد (Behbehani, 2024). همچنین، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پوشش زمین در تعیین پراکنش گونه نقش مؤثری دارد، به گونه‌ای که بیشترین احتمال حضور گونه به‌ترتیب در طبقات بوته‌زار، علفزار و زمین‌های کشاورزی مشاهده شد. تناسب بالای بوته‌زارها و علفزارها بیانگر اهمیت این زیستگاه‌ها در تأمین پوشش گیاهی، منابع غذایی و شرایط مناسب برای لانه‌سازی و پناه‌گیری گونه است. حضور نسبتاً بالای گونه در زمین‌های کشاورزی می‌تواند ناشی از مجاورت این اراضی با زیستگاه‌های طبیعی، وجود پوشش گیاهی حاشیه‌ای و فراهم بودن منابع غذایی باشد و لزوماً به‌معنای ترجیح مستقیم این گونه برای استقرار در زمین‌های کشاورزی نیست. این یافته با نتایج Kafash و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد که نشان داد پوشش گیاهی، در کنار متغیرهای اقلیمی از عوامل مهم تعیین‌کنندهٔ توزیع سوسمار خاردم بین‌النهرین بوده و تغییر کاربری اراضی و تخریب زیستگاه می‌تواند بر الگوی توزیع این گونه تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. پوشش گیاهی نقش حیاتی در لانه‌گزینی گونه دارد (Ghaedi *et al.,* 2021). همچنین، پوشش گیاهی به‌عنوان دومین متغیر مهم در مدل‌سازی تناسب زیستگاه گونهٔ سوسمار خاردم مصری در کویت شناسایی شد (Behbehani, 2024)

تغییر اقلیم تأثیر قابل‌توجهی بر الگوی رفتاری و توزیع سوسمار خاردم بین‌النهرین در استان خوزستان در آینده خواهد داشت. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی می‌تواند سوسمارهای خاردم را ساعات بیشتری در طول شبانه‌روز محدود به لانه کند و فعالیت‌های تغذیه‌ای و جفت‌یابی آنها را محدود سازد (Tatu *et al.,* 2024). مقایسهٔ سناریوهای اقلیمی آینده با شرایط حال نشان داد که در تمامی سناریوهای مورد بررسی، مساحت زیستگاه‌های نامناسب در استان خوزستان افزایش چشمگیری (بیش از دو برابر) خواهد داشت. همچنین، در دو بازهٔ ۲۰۴۰–۲۰۲۱ و ۲۰۸۰–۲۰۶۰ از شش سناریوی اقلیمی، افزایش زیستگاه با تناسب بالا در چهار سناریو پیش‌بینی شده است. در مورد دو سناریوی دیگر به‌نظر می‌رسد کاهش کل زیستگاه مناسب (تناسب پایین تا بالا در ردیف آخر جدول ۲) و همچنین حذف قسمتی از زیستگاه با تناسب بالا در جنوب شرق استان باعث این موضوع شده است که دلایل ذکر

شده برای سناریوی SSP585 در بازهٔ ۲۰۴۰–۲۰۲۱ بیشتر نمود پیدا می‌کند. کاهش زیستگاه‌های با تناسب پایین تا بهینه احتمالاً ناشی از افزایش دما و تغییر الگوی بارش است که شرایط اقلیمی مناسب برای این گونه را محدود می‌کند. از آنجا که این سوسمار به شرایط اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک وابسته است، تغییر در رژیم دمایی و بارش می‌تواند بر پوشش گیاهی، کیفیت خاک، منابع غذایی و در نهایت بر توزیع این گونه تأثیر بگذارد. یافته‌های مطالعهٔ حاضر با نتایج Kafash و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد که تغییر اقلیم را از عوامل اصلی تغییر الگوی توزیع این گونه معرفی کردند. به‌طور کلی، جنوب و مرکز خوزستان از مناطق با تناسب زیستگاه گونه در آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم حذف خواهد شد و شمال خوزستان با افزایش مناطق با تناسب بالای زیستگاهی مواجه خواهد شد. در نتیجه، تغییر توزیع گونه به عرض‌های جغرافیایی بالاتر و مناطق مرتفع‌تر رخ خواهد داد. یافته‌های مطالعهٔ حاضر با نتایج مطالعات پیشین در مورد تغییر توزیع گونه‌های سوسمارهای خاردم شمال آفریقا و شبه‌جزیرهٔ عربستان به عرض‌های جغرافیایی بالاتر و مناطق مرتفع‌تر همخوانی دارد (Kechnebbou *et al.,* 2021). البته باید توجه داشت که توان حرکتی محدود خزندگان و وجود موانع فیزیکی (مانند جاده‌ها و اراضی کشاورزی) در امکان جابجایی واقعی گونه به عرض‌های جغرافیایی بالاتر و مناطق مرتفع‌تر محدودیت ایجاد می‌کند. در این مورد، سازگاری گونهٔ خزنده در امر جابجایی و تطابق با محیط جدید، تعیین‌کنندهٔ نجات گونه یا کاهش جمعیت و انقراض آن در آینده خواهد بود (Sinervo *et al.,* 2024).

یکی از محدودیت‌های این مطالعه، نبود پیش‌بینی‌های آینده برای متغیرهای غیراقلیمی مانند خاک، پوشش گیاهی و جاده‌ها بوده و تنها سناریوهای اقلیمی آینده در پیش‌بینی توزیع سوسمار خاردم بین‌النهرین در آینده مورد بررسی قرار گرفتند. هرچند که هدف مطالعهٔ حاضر، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر توزیع گونه در آینده بود. محدودیت بعدی، تعداد نقاط حضور به نسبت پایین گونه بود. بدین‌منظور در تنظیمات پیش‌فرض نرم‌افزار MaxEnt تغییراتی داده شد و از سوی دیگر، مقادیر میانگین AUC و TSS، نشان‌دهندهٔ دقت مناسب مدل پیش‌بینی تناسب زیستگاه گونه است.

در مطالعهٔ حاضر، پیش‌بینی سناریوهای آیندهٔ تغییر اقلیم نشان داد که با افزایش دما و تغییر الگوی بارش، انقراض محلی سوسمار خاردم بین‌النهرین در جنوب استان خوزستان رخ خواهد داد و شمال استان با افزایش زیستگاه‌های با تناسب بالا مواجه خواهد شد. در نتیجه، الگوی توزیع گونه در آینده دستخوش تغییر خواهد شد. این نتایج، بیانگر حساسیت گونه به تغییر اقلیم و تأثیر قابل‌توجه آن بر کیفیت و گسترهٔ زیستگاه‌های مناسب گونه است. از این‌رو، نتایج این پژوهش می‌تواند در شناسایی و تغییر زیستگاه‌های مناسب، اولویت‌بندی مناطق حفاظتی، برنامه‌ریزی مدیریتی و تدوین راهبردهای حفاظتی به‌منظور حفاظت از این سوسمار در استان خوزستان مورد استفاده قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و در قالب درس کارورزی ۲ (پروژهٔ مقطع کارشناسی) انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائهٔ نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology 43(6), 1223-1232.

Ahmadpour, M., Kamyab, H.R., Momeni, N., Nasirahmadi, K., Sinkakarimi, M., 2023. Habitat suitability modeling of the Persian pheasant (*Phasianus colchicus persicus*) in the Miankaleh Biosphere Reserve. Experimental Animal Biology 12(46), 39-49. (In Persian)

Aligaz, M.A., Kufa, C.A., Ahmed, A.S., Argaw, H.T., Tamrat, M., Yihune, M., Atickem, A., Bekele, A., Bogale, B.A., 2024. Distribution and extent of suitable habitats of Ruspoli's Turaco (*Tauraco ruspolii*) and White-cheeked Turaco (*Tauraco leucotis*) under a changing climate in Ethiopia. BMC Ecology and Evolution 24, 83.

Almasieh, K., Mirghazanfari, S.M., Mahmoodi, S., 2019. Biodiversity hotspots for modeled habitat patches and corridors of species richness and threatened species of reptiles in central Iran. European Journal of Wildlife Research 65, 92.

Aravind, C.K., Priti, H., Harikrishnan, S., Ravi, C., Mapping Malabar Tree Toad Programme, Gururaja, K. V., 2024. Revisiting current distribution and future habitat suitability models for the endemic Malabar Tree Toad (*Pedostibes tuberculosus*) using citizen science data. Scientific Reports 14(1), 18856.

Barrington-Leigh, C., Millard-Ball, A., 2017. The world's user-generated road map is more than 80% complete. PLoS ONE 12(8), e0180698.

Behbehani, W., 2024. Ecological and genetic studies on the Arabian spiny-tailed lizard *Uromastyx aegyptia microlepis* (Blanford, 1875) in the State of Kuwait, PhD thesis, Bangor University, Gwynedd, Wales.

Biber, M.F., Voskamp, A. Hof, C., 2023. Potential effects of future climate change on global reptile distributions and diversity. Global Ecology and Biogeography 32, 519-534.

Brown, J.L., 2014. SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic, and species distribution model analyses. Methods in Ecology and Evolution 5(7), 694–700.

CITES, 2026. Checklist of CITES species, Appendix II, Available from https://checklist.cites.org (Accessed 20 July 2026).

da Silveira, L.C.L., Marchioro, C.A., 2026. Global Suitable Habitats for *Spodoptera litura* and the Implications for Brazilian Agriculture. Neotropical Entomology 55, 23.

Diele-Viegas, L.M., Rocha, C.F.D., 2018. Unraveling the influences of climate change in Lepidosauria (Reptilia). Journal of Thermal Biology 78, 401-414.

FAO, IIASA, 2023. Harmonized World Soil Database (HWSD) version 2.0. Rome, Italy, and Laxenburg, Austria.

Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics 45, 1944-9208.

Fick, S.E., Hijmans, R., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas (pp.1-14). International Journal of Climatology 37(12), 4302-4315.

Fu, C., Peng, Y., Yang, F., He, Z., Ali, H., Xu, D., 2024. Potentially suitable geographical area for *Colletotrichum acutatum* under current and future climatic scenarios based on optimized MaxEnt model. Frontiers in Microbiology 15, 1463070.

Ghaedi, Z., Qashqaei, A.T., Mahdavi, A., 2021. Burrow structure and site selection of the Mesopotamian Spiny-tailed Lizard, *Saara loricata* (Blanford, 1874) (Squamata: Agamidae) in Iran, Zoology in the Middle East 67(2), 186-188.

Hirzel, A.H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C., Guisan, A., 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. Ecological Modelling 199(2), 142-152.

Hosseinpour, S., Sharafati, A., Abghari, H., 2025. Evaluation of general circulation models in simulating spatial patterns of climate variables over various regions of Iran. Journal of Water and Climate Change 16, 1782-1803.

Kaboodvandpour, S., Almasieh, K., Zamani, N., 2021. Habitat suitability and connectivity implications for the conservation of the Persian leopard along the Iran–Iraq border. Ecology and Evolution 11, 13464-13474.

Kafash, A, Kaboli, M, Köhler, G., 2014a. Predicting the impacts of climate change on the Mesopotamian Spiny-tailed Lizard (*Saara loricata*): Using maximum entropy algorithm and Bioclim. Journal of Animal Biology 7(1), 75-82. (In Persian)

Kafash, A., Kaboli, M., Yousefi, M., Rezaei, A., Köhler, G., 2014b. The role of vegetation in burrow site selection by Mesopotamian spiny-tailed lizard, *Saara loricata* (Blanford, 1875) in Mish Dagh Protected Area, Khuzestan province. Journal of Animal Environment 6(2), 105-114. (In Persian)

Kafash, A, Kaboli, M, Köhler, G, Yousefi, M, Asadi, A., 2016. Ensemble distribution modeling of the Mesopotamian spiny-tailed lizard, *Saara loricata* (Blanford, 1874), in Iran: an insight into the impact of climate change. Turkish Journal of Zoology 40 (2), 262-271.

Kechnebbou, M., de Carvalho, D.L., da Silva, P.H., Silva, D.P., 2021 Global warming drives range shifts in spiny-tailed lizards (Squamata: Agamidae: *Uromastyx*) in the African and Arabian deserts, Journal of Arid Environments 191, 104522.

Lehner, B., Grill G., 2013. Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. Hydrological Processes 27(15), 2171-2186

Li, S., Wang, Z., Zhu, Z., Tao, Y., Xiang, J., 2023. Predicting the potential suitable distribution area of *Emeia pseudosauteri* in Zhejiang Province based on the MaxEnt model. Scientific Reports 13, 1806.

Li, Q., Shao, W., Jiang, Y., Yan, C., Liao, W., 2024. Assessing Reptile Conservation Status under Global Climate Change. Biology 13, 436.

Liu, Z., Peng, Y., Xu, D., Zhuo, Z., 2024. Meta-Analysis and MaxEnt model prediction of the distribution of *Phenacoccus solenopsis Tinsley* in China under the context of climate change. Insects 15(9), 675.

Luo, J., Ma, Y., Liu, Y., Zhu, D., Guo, X., 2024. Predicting *Polygonum capitatum* distribution in China across climate scenarios using MaxEnt modeling. Scientific Reports 14, 20020.

Mohammadi Aloucheh, R., Kami, H.G., Dadashi, A., 2010. The identification of the lizard fauna in the southern parts of Ardabil province. Journal of Animal Biology 2(4), 69-82. (In Persian)

Morris, D.W., 2024. Adaptive responses to habitat change: Theory and tests with field experiments. Ecology 105(7), e4333.

Moustakas, A., Zemah-Shamir, S., Tase, M., Zotos, S., Demirel, N., Zoumides, C., Christoforidi, I., Dindaroglu, T., Albayrak, T., Ayhan, C.K., Fois, M., Manolaki, P., Sandor, A.D., Sieber, I., Stamatiadou, V., Tzirkalli, E., Vogiatzakis, I.N., Zemah-Shamir, Z., Zittis, G., 2025 . Climate land use and other drivers' impacts on Island ecosystem services: A global review. The Science of the Total Environment 973, 179147.

Mozaffari, O., Kamali, K., Fahimi, H., 2013. The Atlas of Reptiles of IRAN. Iran Department of the Environment. Pp. 361.

Nazari-Serenjeh, F., Torki, F., 2017. Geographical distribution and conservation biology of the Mesopotamian spiny-tailed lizard *Saara loricata* in Bushehr Province, southern Iran. The Herpetological Bulletin 139, 28-30.

Papenfuss, T., Shafiei Bafti, S., Sharifi, M., Anderson. S.C., 2009. *Saara loricata. The IUCN Red List of Threatened Species 2009*: e.T164636A5913861. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009.RLTS.T164636A5913861.en

Phillips, S.J., Dudik, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. Ecography 31, 161-175.

Qashqaei, A.T., Ghaedi, Z., Coogan, S.C.P., 2023. Diet composition of omnivorous Mesopotamian spiny-tailed lizards (*Saara loricata*) in arid human-altered landscapes of Southwest Iran. Ecology and Evolution 13(2), e9783.

Safaei-Mahroo, B., Ghaffari, H., Fahimi, H., Broomand, S., Yazdanian, M., Najafi Majd, E., Hosseinian Yousefkhani, S.S., Rezazadeh, E., Hosseinzadeh, M.S., Nasrabadi, R., Rajabizadeh, M., Mashayekhi, M., Motesharei, A., Naderi, A., Kazemi, S.M., 2015. The Herpetofauna of Iran: Checklist of Taxonomy, Distribution and Conservation Status. Asian Herpetological Research 6(4), 257-290.

Sinervo, B., Reséndiz, R.A.L., Miles, D.B., Lovich, J.E., Rosen, P.C., Gadsden, H., Gaytán, G.V., Tessaro, P.G., Luja, V.H., Huey, R.B., Whipple, A., Cordero, V.S., Rohr, J.B., Caetano, G., Santos, J.C., Sites, J.W., de la Cruz, F.R.M.,, 2024. Climate change and collapsing thermal niches of desert reptiles and amphibians: Assisted migration and acclimation rescue from extirpation. Science of The Total Environment 908, 168431.

Taylor, E.N., Diele-Viegas, L.M., Gangloff, E.J., Hall, J.M., Halpern, B., Massey, M.D., Rödder, D., Rollinson, N., Spears, S., Sun, B., Telemeco, R.S., 2021. The thermal ecology and physiology of reptiles and amphibians: A user's guide. Journal of Experimental Zoology 335, 13-44.

Tarekegn, Z.S., Leta, S., Nigatu, S.D., Mekonnen, S.A., Molla, W., 2025. Modeling the spatial distribution and environmental factors of dominant ixodid tick species parasitizing cattle in northwest Ethiopia. Veterinary Parasitology 335, 110436.

Tatu, A., Sutirtha Dutta, S., Thaker, M., 2024. Hotter deserts and the impending challenges for the Spiny-tailed Lizard in India. Biology Open 13, bio060150.

Wang, X., Li, Z., Zhang, L., Wang, Y., Liu, Y., Ma, Y., 2024. The optimized Maxent model reveals the pattern of distribution and changes in the suitable cultivation areas for *Reaumuria songarica* being driven by climate change. Ecology and Evolution 14(7), e70015.

Wang, X., Shang, M., Wang, Z., Ji, H., Wang, Z., Liu, Q., 2025. Projecting the potential distribution of *Rickettsia japonica* In China and Asian adjacent regions under climate change using the Maxent model. Frontiers in Public Health 13, 1478736.

Wei, X., Xu, D., Zhuo, Z., 2023. Predicting the Impact of Climate Change on the Geographical Distribution of Leafhopper, *Cicadella viridis* in China through the MaxEnt Model. Insects 14(7), 586.

Xiao, Q., Shi, X. D., Shi, L., Yao, Z. Y., Chen, Y. H., Yang, W. Z., Liao, Z. Y., Qi, Y., 2025. Enhanced risk assessment framework integrating distribution dynamics, genetically inferred populations, and morphological traits of Diploderma lizards. Zoological Research 46(1), 15-26.

Yao, W., Wang, Z., Fan, Y., Liu, D., Ding, Z., Zhou, Y., Hu, S., Zhang, W., Ou, J., 2024. Prediction of potential habitat distributions and climate change impacts on the rare species *Woonyoungia septentrionalis* (Magnoliaceae) in China based on MaxEnt. Plants (Basel, Switzerland) 14(1), 86.

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N.-E., Xu, P., Ramoino, F. Arino, O., 2022. ESA WorldCover 10 m 2021 v200 (Version v200) [Dataset]. Zenodo.