

Habitat Management of Mugger Crocodile (*Crocodylus palustris*) through Regional- Scale Niche Modeling for Practical Conservation Planning

Malihe Erfani¹, Abdolrassoul Salmanmahiny²

1. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran, Email: maliheerfani@uoz.ac.ir
2. Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: rassoulmahiny@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 4 December 2024
Received in revised form: 26 March 2025
Accepted: 1 May 2025
Available online: 10 June 2025

Keywords:

Conservation Biology,
Habitat modeling,
Integrated watershed
Management,
Species distribution

ABSTRACT

Objective: Macro-environmental variables influence the distribution of species on a regional scale, and bioclimatic variables are the most important among them. The mugger crocodile (*Crocodylus palustris*), which is a keystone species and the only crocodile in Iran, needs freshwater habitats to survive in regions with low precipitation. Also, every temperature fluctuation in the nest location impacts the sex ratio of its offspring. Consequently, the continuity of survival of this cold-blooded species is fundamentally influenced by climatic conditions rather than other ecological conditions on a regional scale. Therefore, this study was conducted on habitat modeling of the mugger crocodile using historical bioclimatic variables on a regional scale.

Methods: In the present study, habitat suitability modeling for the mugger crocodile was conducted using maximum entropy modeling (MaxEnt) and bioclimatic variables extracted from the KGCLim_V1 climate model database. Bioclimatic variables were screened based on their correlation and the variability of each dataset, as assessed through standard deviation (SD), ultimately leading to the selection of seven from an initial dataset of twelve variables. Using species presence data as the dependent and bioclimatic variables as independent variables, the MaxEnt model was executed with 15 repetitions to identify potentially suitable areas for the species at regional scale based on the average results from the repetitions.

Results: The modeling results indicated that the highly suitable habitat areas were located near the observation points of the species. This finding reflected a significant gain associated with a high area under the curve (AUC) value of 0.938. The jackknife test identified the most effective climatic variables, including PWM, PWMwint, and Tavg. According to the logarithmic response curves of this species to rainfall bioclimatic variables, suitable habitat areas were predicted to be in regions with low rainfall. By comparing the results with those of other studies, it was concluded that different scales of biological, ecological, geographical, and human factors influence the species distribution. Therefore, predicting species distribution across multiple spatial scales is essential for a more accurate valuation of the relationships among these variables.

Conclusions: The findings of this study showed the necessity of integrated watershed management, especially in upstream areas, to ensure the survival of mugger crocodile downstream. Accordingly, a hierarchical modeling approach was recommended for future studies utilizing environmental variables at different scales. This approach is based on modeling macro factors separately from local-scale influences. In this context, micro and macro-scale studies are both important; however, their integration may pose problems because of inconsistency in spatial resolution and the scale of their effect on the species.

Cite this article: Erfani, M., Salmanmahiny, A. (2025). Habitat Management of Mugger Crocodile (*Crocodylus palustris*) through Regional-Scale Niche Modeling for Practical Conservation Planning. Journal of Environmental Studies, 51 (1), 41- 58. <http://doi.org/10.22059/JES.2025.385203.1008549>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2025.385203.1008549>

Introduction

Habitat quantification is often the initial management step to protect species separated into distinct subpopulations due to habitat fragmentation. The distribution of species on a regional scale is influenced by macro factors, with climatic conditions being the most significant among these variables. Generally, for effective species protection, suitable habitat areas of key species are studied, prioritizing those with specialized needs, such as dependence on water and temperature-dependent sex determination in offspring. Freshwater systems are vulnerable to direct and indirect impacts from disturbances occurring in their watershed, all of which can lead to loss of biodiversity within aquatic systems. As a keystone and umbrella species, the mugger crocodile requires freshwater for survival in regions characterized by low precipitation. Additionally, temperature fluctuations in the nesting environment impact the sex ratio of its offspring. Consequently, the life and survival of this species on a regional scale are primarily influenced by climatic conditions. Therefore, the current study was conducted to model the habitat of the mugger crocodile using historical climate data on a regional scale.

Method

Using historical climate data on a regional scale, the current study was conducted to model the habitat of the mugger crocodile, which is recognized as the only crocodile species in Iran classified as vulnerable by the IUCN. The watershed encompassing the Bahuklat River, with several tributaries, ponds, and dams, forms the habitat of this species. Habitat suitability modeling was conducted using maximum entropy modeling (MaxEnt) and bioclimatic variables extracted from the KGCLim_V1 climate model database. Screening of bioclimatic data was implemented based on their correlation and the variability of each dataset, as assessed through standard deviation (SD), ultimately leading to the selection of seven from an initial dataset of twelve variables. These data consisted of the following: annual mean temperature (Tavg), temperature of the warmest month (TWM), annual precipitation (PTOT), precipitation of the warmest half of the year (Psumm), precipitation of the driest month in the coldest half of the year (PDMwint), precipitation of the wettest month (PWM), and precipitation of the wettest month in the coldest half of the year (PWMwint).

The GPS records of species presence were used as the dependent variable, and bioclimatic variables as independent variables in the MaxEnt model. The output of the modeling was a map showing potentially suitable areas for the species on a regional scale, based on the average of results from repetitions of the model.

To perform resampling, a cross-validation method was used with 15 replicates. In this method all data are used to validate the model. The output format was Cloglog and the maximum sensitivity plus specificity (MTSS) threshold was used to prepare Boolean suitability maps. Sensitivity analysis and examination of the relative importance of each environmental variable were conducted using the importance scores of each variable, the variable response curves for univariate models, and the jackknife method to evaluate the variability of the area under the curve (AUC) after removing each variable. The accuracy of the model was evaluated by analyzing the AUC of the receiver operating characteristic (ROC). Additionally, for the sensitivity analysis and model validation, 70% of the presence points were used as training data and 30% for testing data. The AUC of the model was then compared using these two sets of data.

Results

The modeling results indicated that the highly suitable habitat areas were located near the observation points of the species. This finding reflected a significant gain and, consequently, a high area under the curve (AUC) value of 0.938. The jackknife test identified the most effective climatic variables,

including precipitation of the wettest month (PWM), precipitation of the wettest month in the coldest half-year (PWMwint), and the annual mean temperature (Tavg). According to the logarithmic response curves of this species to rainfall bioclimatic variables, suitable habitat areas were predicted to be in the regions with low rainfall, as expected. The optimal annual temperature for the mugger crocodile was estimated at approximately 25 degrees Celsius. By comparing the results with those of the other studies, it was concluded that different scales of biological, ecological, geographical, and human factors influenced the species distribution. Therefore, predicting the species distribution across multiple spatial scales was found to be essential for a more accurate valuation of the relationships among these variables. Additionally, we observed that models with fewer input variables were more efficient in showing species distribution rather than models with more inputs. This issue was more highlighted when variables belonged to different scales and were integrated into a single model.

Conclusions

Wide areas of southern Baluchistan's watershed are climatically suitable for mugger crocodiles. The suitable areas of the potential distribution of mugger crocodiles in the study area were found to be the regions characterized by low precipitation and freshwater dependency, which indicates the need for special management. Integrated watershed management is crucial, specifically in upstream areas, to ensure the species' survival downstream. Additionally, due to the species' adaptability to various natural and artificial habitats, artificial ponds and other constructed environments can support its life.

The low-lying and plain regions of the Pozak Protected Area, identified as suitable habitats for this species based on the variables studied, are recommended for further investigation of local variables to facilitate the introduction of the species in future research. For further studies, hierarchical modeling is suggested when utilizing data at different scales. This approach separates variables in the aspect of their initial scales, which usually manifests itself in different spatial resolutions, according to the scale of their effect on the different species. Therefore, while both micro and macro-scale studies are necessary, integration of them within one single model is not advisable.

Author Contributions

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

This article is an excerpt from the project with contract number 1402/600/55755, dated February 27, 2024 (1402/12/8 SH), funded by the Department of Environment of the Islamic Republic of Iran. The authors wish their full appreciation and sincere gratitude to all the respected officials and esteemed experts from the headquarters in and provinces whose participated in the advancement of this project in any way. Special thanks are extended to the Deputy of Education and Public Participation, the Office of Environmental Economics and Technology, and the Deputy of Natural Environment and Biodiversity, the Office of Wildlife Conservation and Management, Mr. Dr. Gholamreza Abdali, Engineer Peyman Ashouri, Dr. Masoud Ebrahim Tehrani and Mr. Dr. Asghar Mobaraki. The authors report administrative and non-financial support was provided by the University of Zabol , Office of Research, by grant number IR-UOZ-GR-4956.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This article is an excerpt from the project with contract number 1402/600/55755, dated February 27, 2024 (1402/12/8 SH), funded by Department of Environment.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



مدیریت زیستگاه تمساح مردابی (*Crocodylus palustris*) از طریق مدل سازی نیچ در مقیاس منطقه ای در راستای برنامه ریزی کاربردی حفاظتی

ملیحه عرفانی^۱، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران، رایانامه: maliheerfani@uoz.ac.ir

۲. گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: rassoulmahiny@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: پراکنش گونه ها در مقیاس منطقه ای تحت تاثیر فاکتورهای کلان قرار دارد. در این میان فاکتورهای اقلیمی از مهم ترین این متغیرها است. گونه تمساح مردابی به عنوان گونه سنگ سرطاق و تنها گونه کروکودیل ایران جهت زیست خود نیاز به وجود پهنه های آب شیرین در مناطق کم بارش دارد و تغییرات دمایی محیط لانه بر روی نسبت جنسی نوزادان آن اثرگذار است. از این رو حیات و بقا آن در مقیاس منطقه ای قبل از هر عامل بوم شناختی دیگر، تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار می گیرد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف مدل سازی زیستگاه تمساح مردابی با استفاده از داده های اقلیمی تاریخی جهت نشان دادن مناطق مطلوب زیستگاهی در مقیاس منطقه ای جهت مدیریت زیستگاه این گونه انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴	روش پژوهش: مدل سازی مطلوبیت زیستگاه با روش حداکثر بی نظمی (MaxEnt) و داده های زیست اقلیم استخراج شده از بانک داده مدل KGCLim_V1 انجام شد. غربالگری داده های زیست اقلیمی بر اساس میزان همبستگی آنها و میزان تنوع هر داده با بررسی SD انتخاب شد که در نهایت از بین دوازده داده زیست اقلیمی، هفت داده انتخاب گردید. با استفاده از داده های حضور گونه به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای زیست اقلیمی به عنوان متغیر مستقل، مدل مکسنت با ۱۵ بار تکرار اجرا شد تا بر اساس میانگین تکرارهای انجام شده، مناطق بالقوه مطلوب برای گونه در مقیاس منطقه ای مکان یابی گردد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۰۶	یافته ها: نتایج مدل سازی نشان داد اکثر مناطق با احتمال مطلوبیت بالا، در اطراف نقاط مشاهده جانور قرار دارند. این مشاهده با بالا بودن مقدار gain و بالتبع مقدار بالای AUC (۰/۹۳۸) تایید می گردد. موثرترین متغیرهای اقلیمی نیز بر اساس آزمون جک نایف PWM، PWMwint و Tavg شناسایی شد. با توجه به منحنی های پاسخ لگاریتمی گونه به زیست اقلیم های بارندگی، مناطق مطلوب زیستگاهی در مناطق کم بارش پیش بینی شد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱	نتیجه گیری: نتایج پژوهش ضرورت مدیریت یکپارچه آبخیز، به خصوص در بالادست را برای حیات این گونه در پایین دست نشان می دهد. به عنوان پیشنهاد پژوهشی برای مطالعات آینده نیز مدل سازی های سلسله مراتبی در صورت استفاده از داده ها با مقیاس های مختلف پیشنهاد می شود، در این حالت، نخست عوامل کلان و سپس عوامل موثر در مقیاس محلی به صورت جداگانه مدل سازی شوند.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰	
کلیدواژه ها: توزیع گونه ها، زیست شناسی حفاظت، مدل سازی زیستگاه، مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز	

استناد: عرفانی، ملیحه؛ و سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۴۰۴). مدیریت زیستگاه تمساح مردابی (*Crocodylus palustris*) از طریق مدل سازی نیچ در مقیاس منطقه ای در راستای برنامه ریزی کاربردی حفاظتی. نشریه محیط شناسی، ۵۱(۱)، ۴۱-۵۸. <http://doi.org/10.22059/JES.2025.385203.1008549>

© نویسندگان

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.



DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2025.385203.1008549>

۱. مقدمه

با وجود وابستگی مستقیم و انکارناپذیر زندگی بشر به حفظ تنوع‌زیستی و منابع طبیعی تاکنون تأثیرات سریع، مخرب و آسیب‌رسان فعالیت‌های انسانی بر تنوع‌زیستی در سطوح چشمگیر و بزرگی رخ داده است. این اثرات منفی بر تنوع‌زیستی، بدون شک بر خدمات و محصولات فراهم شده از آن نیز تأثیر منفی خواهند گذاشت و این در حالی است که معیشت بسیاری از مردم به‌خصوص جوامع محلی وابسته به تنوع‌زیستی است (Gidebo, 2023). از دست دادن و تخریب زیستگاه‌های طبیعی یکی از دلایل اصلی کاهش تنوع‌زیستی است (Fuller et al., 2007)، با این حال باید بین حفاظت و نیازهای توسعه تعادل برقرار شود. ایجاد چنین تعادلی با اطلاعات ناکافی در مورد پیامدهای تصمیمات مدیریتی و کاربری زمین دشوار است. محرک‌های اصلی کاهش کیفیت زیستگاه، تغییرات کاربری اراضی و تغییرات آب و هوایی است که توسط سایر تهدیدات انسانی مانند توسعه زیرساخت‌ها و معرفی گونه‌های جدید تشدید می‌شوند. از این‌رو حفظ و حفاظت از کیفیت زیستگاه و تنوع‌زیستی، در عین حال که نیازهای انسان را برآورده می‌کند، یک وظیفه فوری در مدیریت اکوسیستم است (Terrado et al., 2016).

در سراسر جهان، انقراض گونه‌ها در محیط‌های آب شیرین بیشتر از اکوسیستم‌های خشکی تخمین زده شده است (Abell, 2002). با وجود مساحت کم، سیستم‌های آب شیرین از ۱۰ درصد از همه گونه‌های شناخته شده پشتیبانی می‌کنند (Carrizo et al., 2013). یکی از دلایل افزایش نرخ انقراض در آب‌های شیرین، دشواری انجام تلاش‌های حفاظتی است. سیستم‌های آب شیرین نه تنها در معرض تأثیرات مستقیم هستند، بلکه به تأثیرات غیرمستقیم ناشی از اختلالات در سایر نقاط حوزه آبخیز نیز حساس می‌باشند، که همگی می‌توانند به از بین رفتن تنوع‌زیستی در رودخانه‌ها بیانجامد. در حالی که بسیاری از برنامه‌های حفاظت از زیستگاه فقط تهدیدات مجاور سایت مورد نظر را لحاظ می‌کنند، در حفاظت از سیستم‌های آب شیرین، لازم است ماهیت یکپارچه رودخانه‌ها نیز در نظر گرفته شود (Linke et al., 2011).

جهت حفاظت از گونه‌هایی که به چندین زیر جمعیت مجزا در اثر تکه‌تکه شدن زیستگاه تفکیک شده‌اند، اغلب تعیین کمیت زیستگاه اولین گام مدیریتی است (Poor et al., 2020). در این راستا، استفاده از مدل‌های مبتنی بر آشیان بوم‌شناختی مانند روش حداکثر بی‌نظمی^۱ (MaxEnt) در پیش‌بینی محدوده جغرافیایی بسیاری از گونه‌ها استفاده شده است (Phillips et al., 2024). یکی از چالش‌های اساسی در تعیین کمیت زیستگاه و مدل‌سازی مطلوبیت آن که اغلب نادیده گرفته می‌شود، مساله مقیاس است (Guerrero et al., 2013). به طوری که در اکثر مطالعات مطلوبیت زیستگاه منتشر شده، پیش‌بینی فضایی بر اساس متغیرهای محیطی در یک مقیاس فضایی واحد صرفه نظر از مقیاس ذاتی متغیرهای مستقل انجام شده است (شفیعی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ مبارکی و همکاران، ۱۳۹۷). با این حال، به طور فزاینده‌ای پذیرفته شده است که فرآیندهای بیولوژیک، اکولوژیک، جغرافیایی و انسانی که توزیع گونه‌ها را هدایت می‌کنند در مقیاس‌های فضایی متعدد رخ می‌دهند (Klaassen et al., 2018; Rezaei et al., 2022). در نتیجه، پاسخ گونه‌ها می‌تواند به متغیرهای محیطی و در نتیجه توزیع آنها در مقیاس‌های مختلف متفاوت باشد (Sun et al., 2021). بنابراین، پیش‌بینی توزیع گونه‌ها در مقیاس‌های فضایی چندگانه برای ارزیابی دقیق‌تر روابط محیطی گونه‌ها مهم است (Cushman et al., 2018; Sobral-Souza et al., 2021). عوامل اصلی در توزیع گونه‌ها در مقیاس کلان متغیرهای زیست‌اقلیم (BCVs) هستند. از این‌رو متغیرهای زیست‌اقلیم به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های اصلی در مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی به کار می‌روند. آنها شاخص‌هایی هستند که رابطه یکپارچه بین موجودات زنده و آب و هوا را منعکس می‌کنند (Merkenschlager et al., 2023).

عموماً جهت حفاظت موثر از زیستگاه‌ها، مناطق مطلوب زیستگاهی گونه‌های کلیدی مطالعه می‌شوند که از این بین گونه‌های با نیازهای ویژه مانند وابستگی به آب و داشتن ویژگی تعیین جنسیت توسط دما، نظیر تمساح‌ها و لاک‌پشت‌ها، در اولویت هستند. چرا که تغییر نسبت جنسی منجر به تغییر در ساختار و ترکیب جمعیت و در نتیجه بقاء گونه در طول نسل‌های آتی خواهد شد (González et al., 2019). مشخصه تعیین جنسیت توسط دما^۲ (TDS) به معنی نقش دمای محیط انکوباسیون تخم‌ها در نسبت جنسی نوزادان این گونه

1. Maximum Entropy

2. Temperature-dependent sex determination

است و به عبارتی، ژنتیک عامل تعیین کننده جنسیت نوزادان نیست (Mobaraki et al., 2013). گونه تمساح مردابی به عنوان گونه سنگ سرطاق و چتر (Grigg, 2015) جهت زیست خود نیاز به وجود پهنه های آب شیرین در مناطق کم بارش دارد و تغییرات دمایی محیط لانه بر روی نسبت جنسی نوزادان آن اثرگذار است. از این رو حیات و بقا آن در مقیاس منطقه ای قبل از هر عامل بوم شناختی دیگر، تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار می گیرد. همچنین این گونه در طبقه آسیب پذیر لیست سرخ IUCN طبقه بندی شده و مهم ترین عوامل تهدید کننده آن، آلودگی آب، تخریب زیستگاه، رسوب گذاری، کاهش ذخیره غذایی، جمع آوری تخم ها، تغییر پذیری های فصلی سطح آب و شکار (Chang et al., 2015) بیان شده است.

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. پیشینه نظری

جهت پیش بینی توزیع فضایی گونه ها و مدل سازی نیچ، طیف وسیعی از روش های آماری مانند رگرسیون لجستیک^۱، توابع انتخاب منبع^۲، مدل های خطی تعمیم یافته^۳، مدل های آمیخته خطی تعمیم یافته^۴ استفاده می شوند. در سال های اخیر، مدل های توزیع گونه های مبتنی بر یادگیری ماشینی محبوبیت زیادی به دست آورده اند که از آن جمله می توان به درخت های طبقه بندی و رگرسیون^۵، تحلیل عاملی آشیان بوم شناختی^۶، مدل های مبتنی بر شبکه های عصبی مصنوعی^۷ و حداکثر بی نظمی اشاره کرد (Parveen et al., 2022). به طور کلی مدل های مختلف پیش بینی بر اساس متغیر وابسته در دو دسته قرار می گیرند. مدلهایی که نیاز به داده های حضور دارند و مدلهایی که علاوه بر داده های حضور، از داده های عدم حضور نیز استفاده می کنند. مدلهایی که تنها با داده های حضور کار می کنند، پراکنش بالقوه گونه را بیشتر از حد واقعی نشان می دهند و مدلهایی که داده های عدم حضور را دخیل می کنند با مشکل قابل اعتماد بودن داده های عدم حضور مواجه هستند، بنابراین مدلهایی که تنها از داده های حضور استفاده می کنند همچنان مورد توجه هستند. روش حداکثر بی نظمی یکی از روش های متداول ارزیابی مطلوبیت زیستگاه و مدل سازی آشیان بوم شناختی است که از داده های حضور استفاده می کند (Elith et al., 2006) و دلیل محبوبیت آن درستی بالای نتایج و استفاده آسان از آن است (Merow et al., 2013). این الگوریتم امکان مدل سازی با تعداد داده های حضور کمتر را فراهم می آورد حساسیت کمتری و به اندازه کم نمونه ها دارد (Duan et al., 2014).

۲-۲. پیشینه تجربی

مطالعات انجام شده بر روی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی شامل مطالعات اندکی است که توسط تعداد معدودی از پژوهشگران انجام شده است. در مطالعه مطلوبیت زیستگاه به روش HEP توسط بهروزی راد و همکاران (۱۳۸۸) فاکتورهای محلی ده برکه در امتداد رودخانه سرباز به صورت غیر نقشه ای استفاده شد و در مطالعه مبارکی و همکاران (۱۳۹۷) مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی توسط ترکیبی از فاکتورهای منطقه ای مانند میانگین دما و بارندگی سالانه و فاکتورهای با مقیاس محلی مانند ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی NDVI فاصله از سکونتگاه ها، جاده و رودخانه ها مدل سازی شد. همچنین شفیعی زاده و همکاران (۱۳۹۷) در بخشی از مطالعه خود در جنوب شرق ایران اقدام به ارزیابی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی با متغیرهایی در مقیاس های مختلف کردند. نمونه مطالعات خارجی بر روی دیگر گونه های تمساح توسط رودر و همکاران (۲۰۱۰) و ایپلو و همکاران (۲۰۱۴) انجام شده است که با استفاده از داده های زیست اقلیم مطلوبیت زیستگاه را برآورد نموده اند (Rödder et al., 2010; Ihlow et al., 2015).

1. Logistic regression (LR)
2. Resource selection functions (RSF)
3. Generalized additive models (GAMs)
4. Generalized additive mixed models (GAMs)
5. Classification and regression trees (CART)
6. Ecological niche factor analysis (ENFA)
7. Artificial neural networks (ANNs)

۳. مدل مفهومی

```

graph TD
    A[متغیرهای محیطی (KGclim_V1)] --> B[بررسی همبستگی متغیرهای محیطی]
    B --> C[تبدیل داده های غیر همبسته منتخب از فرمت grid به ASCII]
    D[داده های حضور تسماح مردابی] --> E{Maxent نرم افزار version 3.4.4}
    C --> E
    E --> F[ارزیابی صحت مدل بر اساس منحنی ROC و آماره AUC]
    F --> G[پیش بینی توزیع گونه]
    F --> H[اهمیت متغیرها ( آزمون جک نایف)]
    F --> I[منحنی های پاسخ گونه]
  
```

ماده سازی داده ها

مدل سازی به روش حداکثر بی نظمی

خروجی های مدل جهت ارزیابی پیش بینی توزیع گونه

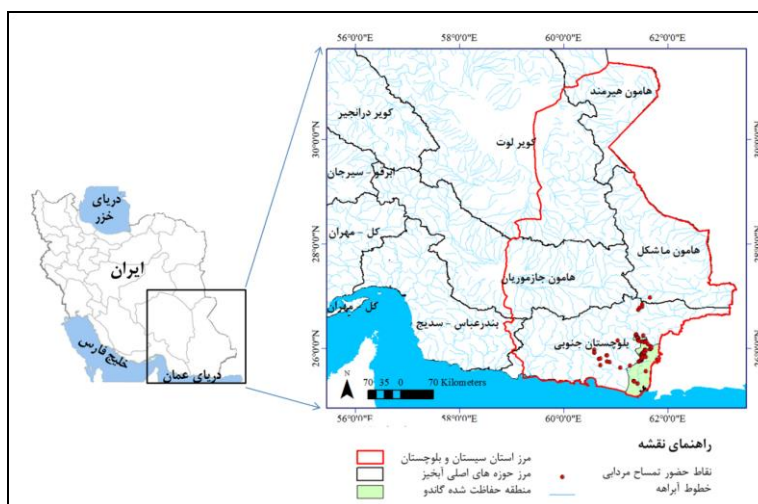
پیش بینی توزیع گونه

اهمیت متغیرها (آزمون جک نایف)

منحنی های پاسخ گونه

۴. روش‌شناسی پژوهش

تمساح مردابی تنها گونه تمساح ایرانی است. عمده پراکنش این گونه در حوزه بلوچستان جنوبی بوده و حد نهایی پراکنش شمالی این گونه در حوزه هامون ماشکل می‌باشد. در مطالعه حاضر ۸۵ نقطه حضور این گونه در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ با بازدید صحرایی و به کمک GPS به عنوان متغیر وابسته ثبت گردید که عمده آنها در خارج از منطقه حفاظت شده گاندو قرار دارند (شکل ۲).



شکل ۲. موقعیت پراکنش نقاط حضور تمساح مردابی در جنوب شرق ایران و حوزه‌های آبخیز (منبع: یافته‌های تحقیق)

۴-۲. روش مدل سازی

مدل سازی مطلوبیت زیستگاه با روش حداکثر بی نظمی انجام شد. متغیرهای مستقل در این مدل، زیست اقلیم ها بوده که با مقایسه زیست اقلیم های بانک های داده مختلف، بهترین بانک داده از نظر به روز بودن و دقت مکانی انتخاب گردید. با توجه به این که در بانک داده KGclim_V1 از بسیاری از داده های موجود شامل CRU TS v4.03، CHELSA V1.2، WorldClim V2، GPCP، UDEL استفاده شده است، به کارگیری این نوع رویکرد ترکیبی و تکنیک های تصحیح اریبی به کاهش عدم قطعیت آن کمک کرده است. همچنین نقشه های متغیرهای ارائه شده که بر اساس پوشش مداوم و طولانی مدت ویژگی های اقلیمی به دست آمده، با ویژگی های توپوگرافی و توزیع پوشش گیاهی نیز کاملاً منطبق بوده و شامل ۱۲ متغیر زیست اقلیم با وضوح ۱ کیلومتر است (Cui et al., 2021). نام و ویژگی های آماری زیست اقلیم های این مدل در محدوده مورد مطالعه در جدول ۱ درج گردیده است.

زیست اقلیم ها از محرک های اصلی در شکل دهی الگوی پراکنش گونه ها به خصوص گونه هایی با مشخصه تعیین جنسیت وابسته به دما مانند تمساح مردابی هستند (Rödter et al., 2009). از این رو اثر تغییرات دما بر روی بقاء و گستره پراکنش گونه های مختلف کروکودیل غیر قابل انکار است (Rödter et al., 2010; Schilling-Tóth et al., 2024) که جهت بررسی این تغییرات، از زیست اقلیم های دمای گرم ترین و سردترین ماه در این تحقیق استفاده شد. همچنین میانگین دما و بارندگی سالانه از عوامل تعیین کننده محدوده پراکنش این گونه است (مطالعه مبارکی و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعات رودر و همکاران (۲۰۱۰) و ایهلو و همکاران (۲۰۱۴) بر اثربخشی زیست اقلیم های مربوط به نحوه توزیع بارندگی در سال بر روی پراکنش تمساح ها نیز تاکید گردیده است که در این رابطه بارندگی گرم ترین و سردترین نیمه سال، بارندگی خشک ترین و مرطوب ترین ماه، بارندگی خشک ترین ماه در نیمه گرم و سرد سال، بارندگی مرطوب ترین ماه در نیمه خشک سال و بارندگی گرم ترین ماه در نیمه سرد سال مورد توجه قرار گرفت (Rödter et al., 2010; Ihlow et al., 2015).

مدل سازی توزیع گونه ها نیازمند متغیرهای غیرهمبسته برای اطمینان از پیش بینی های دقیق و قابل اعتماد است (Lambert & Virgili, 2023). از این رو غربالگری داده های زیست اقلیم بر اساس میزان همبستگی آنها با یکدیگر و میزان تنوع هر داده با بررسی میزان انحراف معیار انتخاب شد. مقدار قابل قبول ضریب همبستگی پیرسون در مطالعات بین ۰/۷ تا ۰/۸ متغیر است (De Marco & Nóbrega, 2018; Farashi & Erfani, 2018). مدل سازی با کمک جدیدترین نرم افزار Maxent version 3.4.4 (Phillips et al., 2024) با ۱۰۰۰ تکرار انجام شد. تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی پس زمینه به عنوان نقاط عدم حضور جهت محاسبه خطای ارتکاب انتخاب شد. با توجه به محدود بودن تعداد نقطه های حضور و نبود خودهمبستگی فضایی بین نقاط حضور، روش ارزیابی متقابل^۱ برای نمونه گیری مجدد با ۱۵ تکرار انجام شد (Hijmans, 2012). روش های مختلفی برای نمونه گیری مجدد وجود دارد. در روش اعتبارسنجی متقاطع داده های آموزشی به چند گروه تقسیم می شوند. سپس یک مدل بر روی تعدادی از آن گروه ها کالیبره شده و روی گروه هایی که کنار گذاشته شده اند، آزمایش می شود. در روش اعتبارسنجی بوت استرپینگ^۲، نمونه جدید از داده های کالیبراسیون با انتخاب تصادفی با جایگزینی انتخاب می شود. به عبارتی هر نمونه بوت استرپینگ ممکن است مقادیر تکراری داشته باشد. روش زیرنمونه^۳ نیز مشابه روش بوت استرپینگ است با این تفاوت که در آن نمونه گیری بدون جایگزینی انجام می شود و ممکن است برخی از مشاهدات در اعتبارسنجی انتخاب نشوند و برخی چندین بار انتخاب شوند (Phillips et al., 2017). از این رو در مطالعه حاضر از روش ارزیابی متقابل که همه داده ها را جهت اعتبارسنجی مدل به کار می گیرد، استفاده شد.

فرمت خروجی Cloglog و از آستانه آموزش حداکثر حساسیت به علاوه ویژگی (MTSS)^۴ نیز جهت تهیه لایه های مطلوبیت بولین استفاده شد. این آستانه موجب درستی بالاتر نتیجه طبقه بندی نقشه مطلوبیت زیستگاه می شود (Liu et al., 2024). حساسیت سنجی و بررسی اهمیت نسبی هر یک از متغیرها با کمک اهمیت هر متغیر، منحنی های پاسخ متغیرها برای مدل های تک متغیره و روش جک نایف

1. Cross-Validation
2. Bootstrapping
3. Subsample
4. Maximum training sensitivity plus specificity (MTSS)

به منظور ارزیابی تغییرپذیری‌های AUC پس از حذف هر متغیر محاسبه شد. عملکرد و صحت مدل نیز با بررسی معیارها مساحت زیر منحنی مشخصه عملیاتی گیرنده مورد سنجش قرار گرفت. همچنین جهت تحلیل حساسیت و صحت‌سنجی مدل نیز از ۷۰ درصد نقاط حضور به عنوان یادگیری و ۳۰ درصد به عنوان آزمون استفاده شد که در این رابطه AUC مدل با استفاده از این دو دسته از داده‌ها نیز مقایسه گردید.

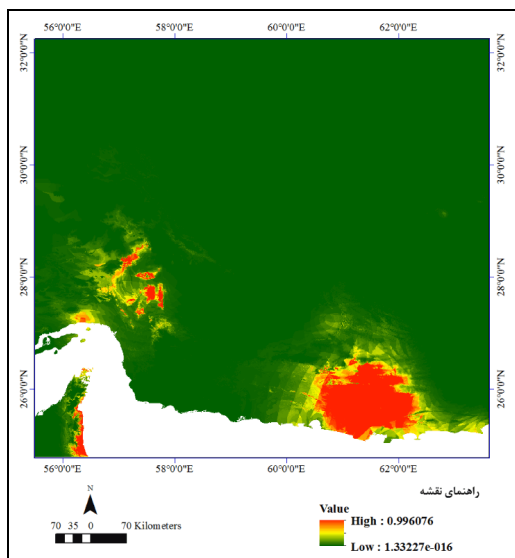
جدول ۱. ویژگی‌های آماری متغیرهای زیست‌اقليم در محدوده مورد مطالعه (Cui et al., 2021)

کد	توصیف (واحد)	توصیف فارسی متغیر	میانگین ($\pm$ انحراف معیار)
Tavg	Annual mean temperature (100 x Celsius degree)	میانگین دمای سالانه	2213.6057 (± 374.2)
TWM	Temperature of the warmest month (100 x Celsius degree)	دمای گرم‌ترین ماه	3228.1121 (± 309.52)
TCM	Temperature of the coldest month (100 x Celsius degree)	دمای سردترین ماه	1082.6119 (± 470.85)
Ptot	Annual precipitation (mm)	بارندگی سالانه	108.3458 (± 43.66)
Psumm	Precipitation of the warmest half-year (mm)	بارندگی گرم‌ترین نیمه سال	12.94 (± 12.51)
Pwint	Precipitation of the coldest half-year (mm)	بارندگی نیمه سرد سال	95.4121 (± 37.11)
PDM	Precipitation of the driest month (mm)	بارندگی ماه خشک	0.2777 (± 0.61)
PDMsumm	Precipitation of the driest month in the warmest half-year (mm)	بارندگی خشک‌ترین ماه در نیمه گرم سال	0.284 (± 0.644)
PDMwint	Precipitation of the driest month in the coldest half-year (mm)	بارندگی خشک‌ترین ماه در نیمه سرد سال	5.5909 (± 3.722)
PWM	Precipitation of the wettest month (mm)	بارندگی مرطوب‌ترین ماه	27.0293 (± 10.225)
PWMsumm	Precipitation of the wettest month in the warmest half-year (mm)	بارندگی مرطوب‌ترین ماه در نیمه خشک سال	6.5517 (± 5.01)
PWMwint	Precipitation of the wettest month in the coldest half-year (mm)	بارندگی گرم‌ترین ماه در نیمه سرد سال	27.0289 (± 10.225)

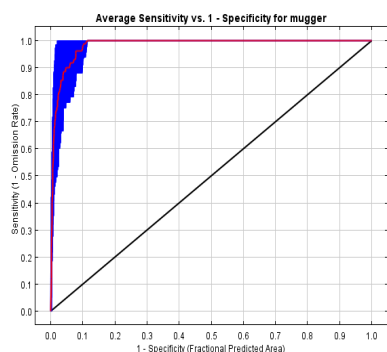
۵. یافته‌های پژوهش

غربالگری ۱۲ زیست‌اقليم بر اساس همبستگی پیرسون، مقدار تنوع هر متغیر بر اساس SD (جدول ۱) و همین طور اهمیت آنها برای مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی انجام شد و در نهایت هفت متغیر شامل Ptot، PDMwint، PWM، PWMwint، Psummm و TWM، Tavg، Psummm جهت مدل‌سازی انتخاب گردید. نتایج مدل‌سازی نشان داد اکثر مناطق با رنگ گرم که احتمال مطلوبیت بالا دارند در اطراف نقاط مشاهده گونه قرار دارند که بالا بودن مقدار gain را نشان می‌دهد (شکل ۲ و ۳).

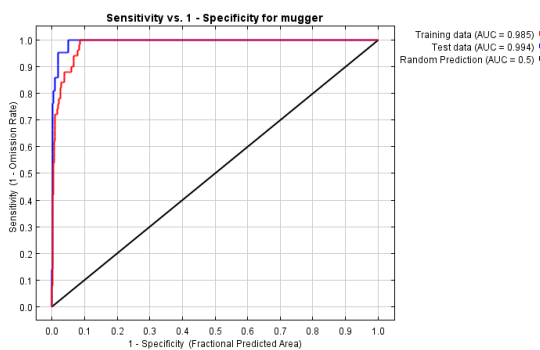
تحلیل حساسیت و واسنجی نمونه‌برداری با مقایسه مقدار AUC حاصل از اجرای مدل با داده‌های یادگیری و آزمون نشان داد که این آماره در هر دو دسته داده دارای مقدار بالای ۰/۹ است که در هر دو حالت قابلیت پیش‌بینی بالای مدل را نشان می‌دهد. همچنین ارزیابی کیفیت مدل مطلوبیت زیستگاه بر اساس میانگین ۱۵ بار تکرار آزمون AUC در مطالعه حاضر عدد ۰/۹۸۳ و انحراف استاندارد ۰/۰۱۲ بود که نشانگر کیفیت عالی و قابلیت پیش‌بینی بالای مدل در شناسایی مناطق مطلوب زیستگاهی است (شکل ۴).



شکل ۳. نقشه مطلوبیت زیستگاه (میانگین ۱۵ بار تکرار مدل) (منبع: یافته‌های تحقیق)



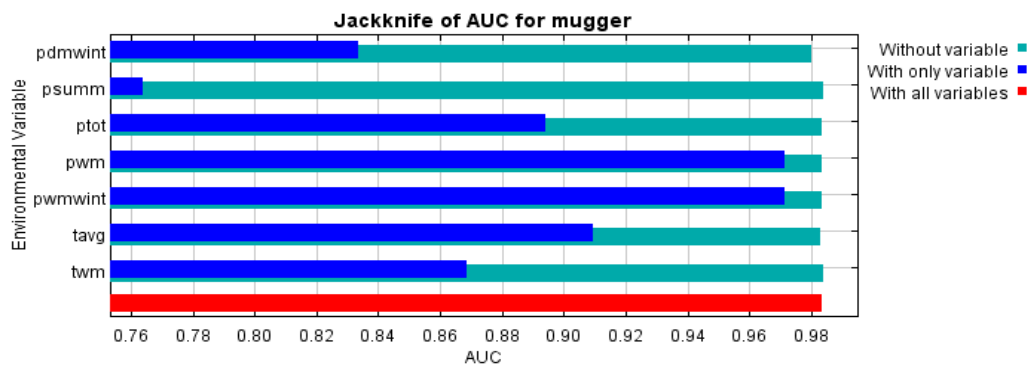
(ب) کل داده‌ها



(الف) داده‌های یادگیری و آزمون

شکل ۴. ارزیابی صحت مدل بر اساس منحنی ROC و آماره AUC (منبع: یافته‌های تحقیق)

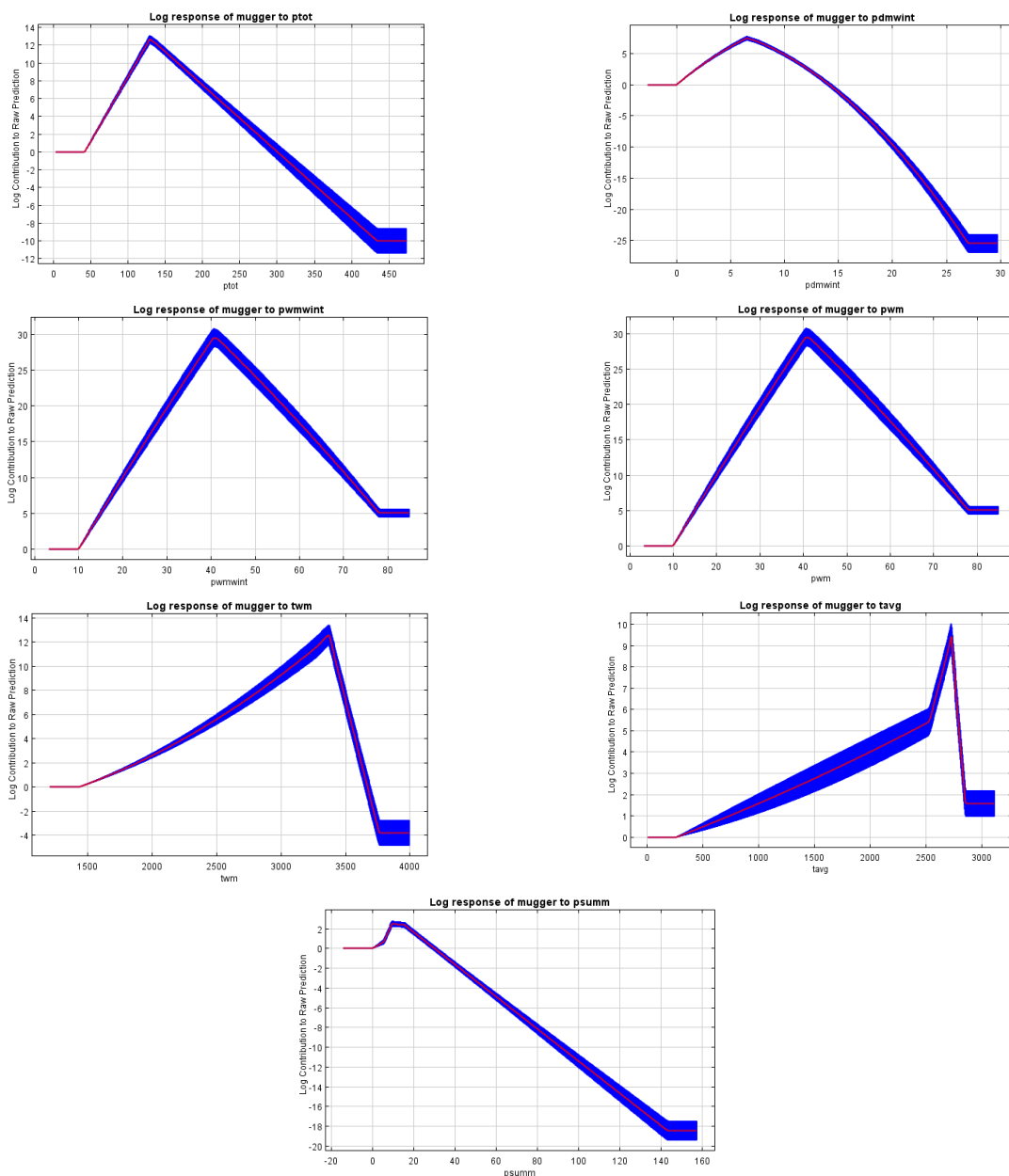
موثرترین متغیرهای اقلیمی نیز بر اساس آزمون جک نایف بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال (PWM)، بارندگی مرطوب‌ترین ماه در نیمه سرد سال (PWMwint) و میانگین دمای سالانه (Tavg) شناسایی شد (شکل ۵).



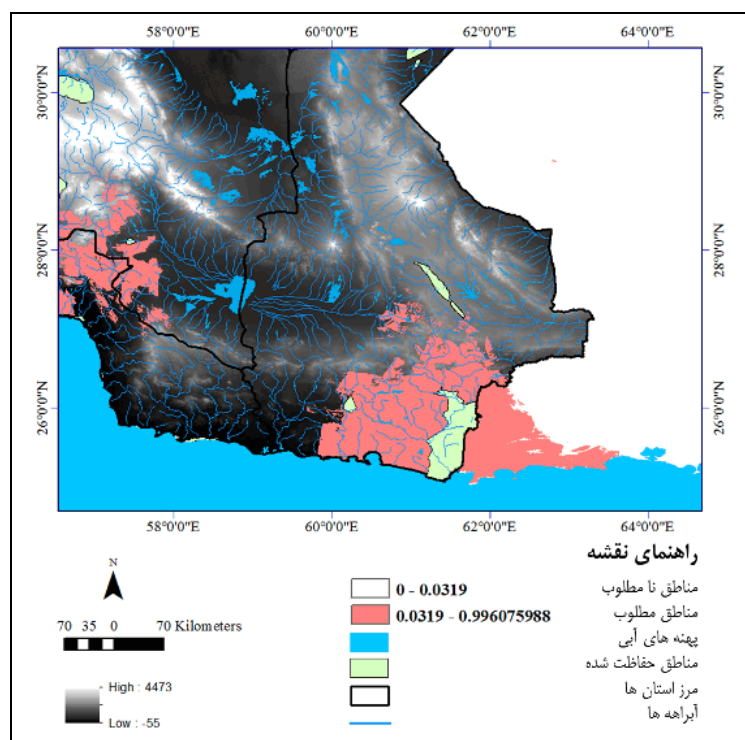
شکل ۵. نمودار آزمون جک نایف (منبع: یافته‌های تحقیق)

با توجه به منحنی‌های پاسخ لگاریتمی گونه به زیست‌اقلیم‌های بارندگی و طبق انتظار، مناطق مطلوب زیستگاهی در مناطق کم‌بارش پیش‌بینی شد. دمای بهینه سالانه برای این گونه حدود ۲۵ درجه به دست آمد (شکل ۶). در همه نمودارها، تمساح مردابی به تغییرات زیست‌اقلیم پاسخ نشان داده است و به عبارتی هیچ پاسخی به صورت یک خط افقی نیست.

بر اساس میانگین آستانه MTSS در ۱۵ با تکرار مدل که عدد ۰/۳۱۹ به دست آمد، نقشه مطلوبیت زیستگاه به دو طبقه مطلوب و نامطلوب تفکیک و لایه بولین طبقه‌بندی شده به دست آمد (شکل ۷). مناطق رنگی در این شکل قسمت‌های مطلوب را نشان می‌دهند. بر این اساس، وسعت کل مناطق مطلوب ۵۸۲۹۷۵۹ هکتار به دست آمد. همان‌طوری که شکل ۷ نشان می‌دهد علاوه بر منطقه حفاظت شده گاندو که زیستگاه اصلی این گونه است، قسمت‌های کم ارتفاع و دشتی منطقه حفاظت شده پوزک نیز از نظر متغیرهای مورد بررسی برای زیست این گونه مناسب است.



شکل ۶. پاسخ لگاریتمی تمساح مردابی به زیست‌اقلیم‌های منتخب (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۷. نقشه بولین میانگین مطلوبیت زیستگاه بر اساس آستانه MTSS (منبع: یافته‌های تحقیق)

۶. بحث

بررسی پراکنش نقاط حضور تمساح مردابی در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ نشان داد که پراکنش گونه در طول زمان بیشتر شده است. بسیاری از نقاط حضور گذشته در حال حاضر نیز همچنان زیستگاه این گونه هستند. به عنوان نمونه طبق انتظار دریاچه سدهای پیشین و زیردان و بسیاری از نقاط نزدیک به مناطق کشاورزی از آن جمله هستند. همچنین در سال‌های اخیر به علت سیلابی بودن منطقه، پهنه‌های آبی پراکنده در مسیر مسیل‌ها و رودخانه‌های دائمی و فصلی ایجاد شده که موجب پراکنش بیشتر گونه شده است. این تغییر پراکنش و جمعیت در شرایط خشکسالی و سیلابی بودن در مطالعات مختلف اثبات شده است (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۷؛ حیدری و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین در گستره پراکنش پیش‌بینی شده در صورت مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز و تداوم بقا پهنه‌های آبی، افزایش جمعیت قابل انتظار خواهد بود.

در مطالعه حاضر با توجه به استفاده از داده‌های تاریخی زیست‌اقلیم مدل KGclim_V1 که میانگین بلندمدت وضعیت اقلیمی را در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد، از داده‌های بلندمدت حضور گونه استفاده شد. برداشت‌های صحرایی در دوره زمانی طولانی اهمیت زیادی دارد. چرا که هدف مطالعه مدل‌سازی بر اساس داده‌های تاریخی اقلیمی بوده و بنابراین همان‌طوری‌که از میانگین داده‌های تاریخی اقلیمی در بازه زمانی طولانی به عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی استفاده می‌شود، استفاده از داده‌های تاریخی حضور گونه نیز به عنوان متغیر وابسته ضروری است. به عبارتی می‌بایست تا حد امکان متغیر وابسته با متغیرهای مستقل هم‌خوانی زمانی داشته باشند. این نکته در سایر مطالعات انجام شده مورد توجه قرار نگرفته است (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Sun et al., 2021; Farashi & Erfani, 2018; Rödder et al., 2024; Liu et al., 2024). در برخی دیگر از مطالعات اگر چه از داده‌های کلان اقلیمی به صورت مجزا استفاده شده است (al., 2010; Ihlow et al., 2015) اما به وضوح به زمان جمع‌آوری داده‌های حضور اشاره نشده است. همچنین مطالعه حاضر برای اولین بار از داده‌های دیتا بانک KGclim_V1 جهت مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در ایران بهره گرفته است.

بررسی پاسخ گونه برای زیست‌اقلیم‌های مختلف بارندگی نشان داد که تمامی زیست‌اقلیم‌های مرتبط با بارندگی دارای الگوی افزایشی و سپس کاهشی هستند که برای گونه وابسته به منابع آب مانند تمساح مردابی انتظار می‌رفت با افزایش بارندگی، مطلوبیت زیستگاه افزایش یابد. در توضیح این ابهام باید گفت که مطلوبیت زیستگاه در قالب یک محدوده به ابعاد ۷۱۵۳۳۰ کیلومتر مربع بررسی گردیده است که در دامنه ارتفاعی متنوعی از مناطق کوهستانی تا اراضی پست و گود افتاده قرار دارد. از آنجایی که بین بارندگی و ارتفاع همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد، مسلماً در مناطق مرتفع بارندگی بیشتری رخ داده و چون مناطق مرتفع زیستگاه این جاندار نیست، بنابراین با افزایش ارتفاع و بارندگی متعاقب آن، به تدریج از مطلوبیت زیستگاه کاسته می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که لازمه حیات این گونه در پهنه‌های آبی در مناطق رودخانه‌ای پایین‌دست، برکه‌ها و آب‌بندان‌ها، تداوم جریان آب ورودی از طریق اراضی بالادست و مرتفع به این مناطق است. بنابراین مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز و توجه به بالادست جهت حمایت از حیات گونه‌هایی که در پایین‌دست زندگی می‌کنند، ضروری است. واکنش گونه با میانگین دمای سالانه نیز نشان داد دمای بهینه سالانه برای این گونه حدود ۲۵ درجه است و پس از آن به شدت مطلوبیت زیستگاه با شیب تند، روندی کاهشی می‌یابد. همچنین دمای ۳۴ درجه در گرم‌ترین ماه سال برای تمساح مردابی بهترین وضعیت مطلوبیت زیستگاه را فراهم می‌آورد و در دماهای بیشتر، روند مطلوبیت زیستگاه کاهشی است. همچنین مطالعه حاضر متغیرهایی را که بیشترین سهم را در مدل مکسنت داشتند، شناسایی کرد که با یافته‌های قبلی از مطالعات انجام شده در سایر تمساح‌ها مطابقت دارد (Rödder et al., 2010; Ihlow et al., 2015).

نتایج مدل‌سازی نشان داد که ۵۸۲۹۷۵۹ هکتار از محدوده مورد مطالعه از نظر اقلیمی برای زیست تمساح مردابی مناسب است. با توجه به این که تمساح مردابی به طیف وسیعی از اکوسیستم‌های طبیعی و مصنوعی سازگار است، گزینه‌های زیادی برای حمایت از زیست این جاندار مطرح است. سدها می‌تواند به عنوان یک گزینه زیستگاهی برای حمایت از زیست این جاندار مطرح باشند. همان‌طوری‌که اخیراً سدهای جدید مانند زیردان باعث افزایش جمعیت این گونه شده است. بررسی اثر سدها بر مطلوبیت زیستگاه تمساح نشان داده است که سدها سبب افزایش مطلوبیت زیستگاه شده‌اند، ولی باید توجه داشت که اگر چه احداث سدها موجب تامین زیستگاه و منابع غذایی شده و از این‌رو دارای کارکردهای مثبت هستند، ولی تأثیرپذیری‌های منفی مانند از بین رفتن و کاهش محل‌های مناسب تخم‌گذاری و کاهش میزان موفقیت تولیدمثل گونه را نیز موجب می‌شوند (مبارکی و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین در اقدامات مدیریتی جهت حفاظت این گونه می‌بایست به اکولوژی جاندار نیز در مرحله بعد توجه کرد.

نتایج مدل‌سازی، مناطقی که از نظر اقلیمی مناسب زیست این گونه است را نشان داد. بر این اساس در پهنه‌های وسیعی که مناسب پیش‌بینی شد، در حال حاضر تمساح مردابی حضور ندارد که مهم‌ترین دلیل آن نبود پهنه‌های آبی است. عوامل دیگری نیز چون تراکم پوشش گیاهی، شیب و غیره که در مقیاس‌های کوچک و محلی اثرگذارند، نیز بر پراکنش گونه موثرند که در مطالعات دیگر نقش آنها به اثبات رسیده است (شفیعی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ مبارکی و همکاران، ۱۳۹۷). لازم به ذکر است که با توجه به تغییرات فصلی و سالانه پهنه‌های آبی و قابلیت جابه‌جایی بالای تمساح مردابی، تغییر زیستگاه‌های محلی این گونه در محدوده‌های مطلوب اقلیمی مشابه روند گذشته قابل انتظار است. از این‌رو جایابی مکان‌های مناسب جهت کاهش تعارض انسان و تمساح مردابی به عنوان اقدام مدیریتی در اولویت جهت حفاظت از این گونه قرار دارد. ضمن این که داشتن ویژگی تعیین جنسیت نوزاد توسط دما نیز بر لزوم تمرکز اقدامات مدیریتی در محدوده‌های مدل‌سازی شده در این پژوهش تأکید می‌کند.

مقایسه نتایج مدل‌سازی حاضر با سایر مطالعات به آشکارسازی اهمیت به کارگیری مقیاس‌های مختلف در مطالعات مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه صحنه گذاشت. مطالعه حاضر با به کارگیری زیست‌اقلیم‌ها به عنوان گام نخست مکان‌یابی مطلوبیت زیستگاه در مقیاس منطقه‌ای انجام شد، حال آن که در اکثر مطالعات انجام شده مجموعه‌ای از داده‌های مستقل در مقیاس‌های مختلف وارد مدل‌سازی شده‌اند. به عنوان نمونه مناطق مطلوب شناسایی شده تمساح مردابی در مطالعات مبارکی و همکاران (۱۳۹۷) و شفیع‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) به صورت محدوده‌های باریک و عمدتاً در مجاورت پهنه‌های آبی به علت به کارگیری مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل در مقیاس‌های مختلف، شناسایی شد. حال آن که در مطالعه حاضر با به کارگیری داده‌های اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای، پهنه‌های وسیع‌تر و یکپارچه‌تری به دست آمد که امکان دید کل‌گرایانه جهت مدیریت در مقیاس منطقه‌ای گونه را فراهم می‌آورد. به نحوی که با وسیع شدن

محدوده مورد مطالعه، امکان بررسی بخش‌های وسیعی از حوزه‌های آبخیز مجاور نیز برای معرفی گونه فراهم شد، نتایجی که با داده‌های محلی قابل حصول نیست. به عبارتی داده‌های محلی در مرحله بعد برای هدایت اقدامات مدیریتی محلی حائز اهمیت هستند. همچنین با توجه به این که فرآیندهای طبیعی و انسانی که توزیع گونه‌ها را هدایت می‌کنند، در مقیاس‌های مختلف رخ می‌دهند، پاسخ گونه‌ها به متغیرهای محیطی و در نتیجه توزیع آنها، در مقیاس‌های مختلف متفاوت است. بنابراین، پیش‌بینی توزیع گونه‌ها در مقیاس‌های فضایی چندگانه برای ارزیابی دقیق‌تر روابط محیطی گونه‌ها مهم است. به عبارتی چند مدل نیمه‌نهایی بهتر از یک مدل نهایی قادر به توجیه وضعیت پراکنش گونه‌ها هستند. حال آن که داده‌های با مقیاس‌های مختلف غالباً در یک مدل در مطالعات مختلف مورد توجه قرار گرفته‌اند. از این‌رو، نیاز به تغییر درجه تفکیک مکانی متغیرهای اقلیمی جهت همسان‌سازی آنها با سایر متغیرهای محیطی نیست و با مدل‌سازی سلسله‌مراتبی با متغیرهای هم‌سطح از نظر مقیاس مکانی تاثیرگذاری بر پراکنش گونه‌ها، افق‌های دید جدیدی جهت تصمیم‌گیری در مقیاس‌های مختلف در اختیار تصمیم‌گیران قرار خواهد گرفت.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج مدل‌سازی، پهنه‌های وسیعی از حوزه آبخیز بلوچستان جنوبی از نظر اقلیمی برای زیست تمساح مردابی مناسب پیش‌بینی شد. پراکنش مناطق مطلوب احتمالی زیستگاهی در مناطق کم بارش و وابستگی گونه به پهنه‌های آب‌های شیرین ضرورت مدیریت یکپارچه آبخیز به خصوص در بالادست را برای حیات این گونه در پایین‌دست نشان می‌دهد. این مساله در مورد حفظ همه گونه‌ها صادق است و در مورد گونه‌های وابسته به پهنه‌های آبی غیرقابل اجتناب است. به این دلیل که وجود منابع آبی تنها به مدیریت زیستگاه کنونی و مجاور آن مرتبط نبوده، بلکه به کل حوزه آبخیز وابسته است. از این‌رو ماهیت پیوسته رودخانه‌ها را می‌بایست در مرز مناطق حفاظت شده لحاظ نمود و بهترین حالت استفاده از مرزهای طبیعی زیرحوزه‌های آبخیز در اصلاح مرز مناطق حفاظت شده و تقویت شبکه مناطق حفاظت شده است. همچنین با توجه به سازگاری گونه به انواع زیستگاه‌های طبیعی و مصنوعی در مناطق مطلوب به‌دست آمده، در صورت عدم وجود گودال‌های طبیعی می‌توان از آبندها و زیستگاه‌های مصنوعی جهت حمایت از زیست این گونه استفاده کرد. در این رابطه قسمت‌های کم ارتفاع و دشتی منطقه حفاظت شده پوزک نیز که از نظر متغیرهای مورد بررسی برای زیست این گونه مناسب تشخیص داده شد، جهت مطالعه متغیرهای محلی به منظور معرفی گونه برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. به عنوان پیشنهاد پژوهشی دیگر برای مطالعات آینده مدل‌سازی‌های سلسله‌مراتبی در صورت استفاده از داده‌ها با مقیاس‌های مختلف پیشنهاد می‌شود، به نحوی که در ابتدا فاکتورهای کلان و سپس فاکتورهای موثر در مقیاس محلی به صورت جداگانه مدل‌سازی شوند. به عبارتی اگر چه مطالعات در مقیاس خرد و کلان هر دو ضروری هستند، با این حال ادغام آنها در یک رویکرد جامع به نظر منطقی نمی‌رسد، چرا که ماهیتاً از نظر درجه تفکیک مکانی با یکدیگر هم‌خوانی نداشته و همچنین مقیاس اثرگذاری آنها بر گونه نیز یکسان نیست. همچنین استفاده از داده‌های تاریخی حضور جهت هماهنگی با داده‌های تاریخی اقلیمی از نظر زمانی برای مطالعات مشابه توصیه می‌شود. بنابراین توسعه بانک‌های داده قابل اعتماد حضور گونه توسط سازمان‌های ذی‌ربط و دسترسی آزاد به داده‌ها نیز پیشنهاد می‌شود. همچنین احداث استخرها و آبندهای چند منظوره با همکاری دستگاه‌های ذی‌ربط جهت حمایت از زیست تمساح مردابی و برآورد سایر نیازهای انسانی، جذب سرمایه بخش خصوصی جهت مدیریت تمساح مردابی در طبیعت و همین‌طور تکریر در اسارت آن و تقویت همکاری با بخش خصوصی و مردم محلی برای احیاء جمعیت و جبران خسارات احتمالی بومیان ناشی از تعارض انسان و تمساح مردابی نیز به عنوان راهکارهای مدیریتی پیشنهاد می‌شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله یکسان است.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر مستخرج از طرح با شماره قرارداد ۵۵۷۵۵/۱۴۰۲/۶۰۰ مورخ ۱۴۰۲/۱۲/۸ از محل اعتبارات سازمان حفاظت محیط‌زیست است.

سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح با شماره قرارداد ۵۵۷۵۵/۱۴۰۲/۶۰۰ مورخ ۱۴۰۲/۱۲/۸ از محل اعتبارات سازمان حفاظت محیط‌زیست است. مجری و همکاران طرح بر خود لازم دانسته که از تمامی مسئولین و کارشناسان محترم ستادی و استانی که به نحوی در پیشبرد این طرح مشارکت داشته‌اند، کمال تقدیر و تشکر را داشته باشند. به خصوص معاونت آموزش و مشارکت‌های مردمی، دفتر اقتصاد و فناوری محیط‌زیست و معاونت محیط‌زیست طبیعی و تنوع‌زیستی، دفتر حفاظت و مدیریت حیات‌وحش آقای دکتر غلامرضا ابدالی، مهندس پیمان عاشوری، دکتر مسعود ابراهیم‌تهرانی و آقای دکتر مبارکی. همچنین بخشی از آن با حمایت غیرمالی دانشگاه زابل و کد پژوهانه IR-UOZ-GR-4956 به انجام رسیده است که بدین‌وسیله از حمایت دانشگاه زابل سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع

- بهروزی‌راد، بهروز؛ آبتین، الهام؛ همتی، تورج؛ محمدی، حسین؛ و عرفانی، ملیحه (۱۳۸۸). بررسی زیستگاه تمساح مردابی (*Crocodylus palustris*) در طول رودخانه سرباز در استان سیستان و بلوچستان به منظور تعیین مطلوبیت زیستگاه (HSI). محیط زیست جانوری، ۱(۴): ۵۶-۵۷.
<https://www.aejournal.ir/index.php/AEJ/article/view/586.45>
- حیدری، نسترن؛ ابراهیم‌تهرانی، مسعود؛ حسینی، محمدرضا؛ محمدپور، ام‌البنین؛ جان‌پرور، حسین. و حسینی، اشرف‌علی (۱۴۰۱). بررسی و سرشماری جمعیتی تمساح مردابی *Crocodylus palustris* در جنوب شرق ایران. تنوع‌زیستی و رده‌بندی جانوران، ۲(۱)، ۱۵۶-۱۶۳.
<http://Doi.org/10.22126/jbat.2022.8120.1025>
- شفیعی‌زاده، محمد؛ مرادی، حسین؛ فاخران، سیما؛ و پورمنافی، سعید (۱۳۹۷). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های کانونی به‌منظور طرح‌ریزی حفاظت از تنوع‌زیستی در منطقه جنوب شرق ایران. بوم‌شناسی کاربردی، ۷(۳): ۵۱-۶۶.
<http://doi.org/10.29252/ijae.7.3.51>
- مبارکی، اصغر؛ عرفانی، ملیحه؛ آبتین، الهام؛ و عطایی، فرهاد (۱۳۹۷). ارزیابی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی (*Crocodylus palustris*) (Lesson, 1831) به روش حداکثر بی‌نظمی. فصلنامه علوم محیطی، ۱۶(۴): ۴۷-۶۲.
https://envs.sbu.ac.ir/article_97996.html

References

- Abell, R. (2002). Conservation biology for the biodiversity crisis: a freshwater follow-up. *Conservation Biology*, 16(5), 1435-1437. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.01532.x>
- Behrouzirad, B., Abtin, E., Hemati, T., Mohammadi, H., & Erfani, M. (2009). Survey of Mugger (*Crocodylus palustris*) habitat by using Habitat Suitability Index (HIS) Method along Sarbaz River (Sistan & Baluchistan province). *Animal Environment Journal*, 1(4), 45-56. <https://www.aejournal.ir/index.php/AEJ/article/view/586> (In Persian).
- Carrizo, S. F., Smith, K. G., & Darwall, W. R. T. (2013). Progress towards a global assessment of the status of freshwater fishes (Pisces) for the IUCN Red List: application to conservation programmes in zoos and aquariums. *International Zoo Yearbook*, 47(1), 46-64. <https://doi.org/10.1111/izy.12019>
- Chang, M. S., Gachal, G. S., Qadri, A. H., Memon, K. H., Sheikh, M. Y., & Nawaz, R. (2015). Distribution, population status and threats of marsh crocodiles in Chotiari wetland complex Sanghar, Sindh-Pakistan. *Biharean Biologist*, 9(1), 22-28. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54764767>
- Cui, D., Liang, S., Wang, D., & Liu, Z. (2021). A 1-km global dataset of historical (1979–2017) and future (2020–2100) Köppen-Geiger climate classification and bioclimatic variables. *Earth System Science Data Discussions*, 2021, 1-33. <https://doi.org/10.5194/essd2021-53>
- Cushman, S. A., & Wasserman, T. N. (2018). Landscape applications of machine learning: comparing random forests and logistic regression in multi-scale optimized predictive modeling of American marten occurrence in northern Idaho, USA. *Machine learning for ecology and sustainable natural resource management*, 185-203. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96978-7_9
- De Marco, P., & Nóbrega, C. C. (2018). Evaluating collinearity effects on species distribution models: An approach based on virtual species simulation. *PLoS one*, 13(9), e0202403. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202403>
- Domisch, S., Araújo, M. B., Bonada, N., Pauls, S. U., Jähnig, S. C., & Haase, P. (2013). Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates. *Global Change Biology*, 19(3), 752-762. <https://doi.org/10.1111/gcb.12107>
- Duan, R. Y., Kong, X. Q., Huang, M. Y., Fan, W. Y., & Wang, Z. G. (2014). The predictive performance and stability of six species distribution models. *PLoS one*, 9(11), e112764. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112764>
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huetmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S., & Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Farashi, A., & Erfani, M. (2018). Modeling of habitat suitability of Asiatic black bear (*Ursus thibetanus gedrosianus*) in Iran in future. *Acta Ecologica Sinica*, 38(1), 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.07.003>
- Fuller, T., Sánchez-Cordero, V., Iloldi-Rangel, P., Linaje, M., & Sarkar, S. (2007). The cost of postponing biodiversity conservation in Mexico. *Biological Conservation*, 134(4), 593-600. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.028>
- Gidebo, H. B. (2023). Linking livelihood and biodiversity conservation in protected areas: Community based tourism development perspective from developing country. *Tourism and Hospitality Research*, 23(3), 361-375. <https://doi.org/10.1177/14673584221102699>
- González, E. J., Martínez-López, M., Morales-Garduza, M. A., García-Morales, R., Charruau, P., & Gallardo-Cruz, J. A. (2019). The sex-determination pattern in crocodilians: A systematic review of three decades of research. *Journal of Animal Ecology*, 88(9), 1417-1427. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13037>
- Grigg, G. and Kipshner (2015): Biology and evolution of crocodylians. Csiro Publishing, Clayton. Comstock Publishing Associates a division of Cornell University Press Ithaca and london. p 627. <https://doi.org/10.1086/686861>
- Guerrero, A. M., Mcallister, R. R., Corcoran, J., & Wilson, K. A. (2013). Scale mismatches, conservation planning, and the value of social-network analyses. *Conservation biology*, 27(1), 35-44. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01964.x>
- Guisan, A., Edwards Jr, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological modelling*, 157(2-3), 89-100. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1)
- Heydari, N., Ebrahim Tehrani, M., Hosseini, M. R., Mohammadpour, O., Jan Parvar, H., & Ali Hosseini, A. A. (2022). Population survey and census of marsh crocodile, *Crocodylus palustris* in SE Iran. *Biodiversity and Animal Taxonomy*, 2(1), 156-163. <https://doi.org/10.22126/jbat.2022.8120.1025> (In Persian).
- Hijmans, R. J. (2012). Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. *Ecology*, 93(3), 679-688. <https://doi.org/10.1890/11-0826.1>
- Ihlow, F., Bonke, R., Hartmann, T., Geissler, P., Behler, N., & Rödder, D. (2015). Habitat suitability, coverage by protected areas and population connectivity for the Siamese crocodile *Crocodylus siamensis* Schneider, 1801. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 25(4), 544-554. <https://doi.org/10.1002/aqc.2473>
- Klaassen, B., & Broekhuis, F. (2018). Living on the edge: Multiscale habitat selection by cheetahs in a human-wildlife landscape. *Ecology and evolution*, 8(15), 7611-7623. <https://doi.org/10.1002/ece3.4269>
- Lambert, C., & Virgili, A. (2023). Data stochasticity and model parametrisation impact the performance of species distribution models: insights from a simulation study. *Peer Community Journal*, 3. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.263>

- Linke, S., Turak, E., & Nel, J. (2011). Freshwater conservation planning: the case for systematic approaches. *Freshwater Biology*, 56(1), 6-20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02456.x>
- Liu, Q., Liu, H., Cui, X., Peng, J., Wang, X., Shen, L., ... & Li, X. (2024). Predicting the Population Size and Potential Habitat Distribution of *Moschus berezovskii* in Chongqing Based on the MaxEnt Model. *Forests* (19994907), 15(8). p1449. <https://doi.org/10.3390/f15081449>
- Merkenschlager, C., Bangelesa, F., Paeth, H., & Hertig, E. (2023). Blessing and curse of bioclimatic variables: A comparison of different calculation schemes and datasets for species distribution modeling within the extended Mediterranean area. *Ecology and Evolution*, 13(10), e10553. <https://doi.org/10.1002/ece3.10553>
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Mobaraki, A., Abtin, E., Kami, H. G., & Kiabi, B. H. (2013). Reproductive biology of the Mugger Crocodile, *Crocodylus palustris*, in Iran (Reptilia: Crocodylidae). *Zoology in the Middle East*, 59(3), 207-213. <https://doi.org/10.1080/09397140.2013.841423>
- Mobaraki, A., Erfani, M., Abtin, E., & Ataie, F. (2018). Assessing habitat suitability of the mugger crocodile using maximum entropy. *Environmental Sciences*, 16(4), 47-62. https://envs.sbu.ac.ir/article_97996.html (In Persian).
- Parveen, S., Kaur, S., Baishya, R., & Goel, S. (2022). Predicting the potential suitable habitats of genus *Nymphaea* in India using MaxEnt modeling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(12), 853. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10524-8>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Phillips, S.J., Dudík, M., & Schapire, R.E. (2024). Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ Accessed on 2024-3-24.
- Poor, E. E., Scheick, B. K., & Mullinax, J. M. (2020). Multiscale consensus habitat modeling for landscape level conservation prioritization. *Scientific Reports*, 10(1), 17783. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74716-3>
- Rezaei, S., Mohammadi, A., Malakoutikhah, S., Khosravi, R. (2022) Combining multiscale niche modeling, landscape connectivity, and gap analysis to prioritize habitats for conservation of striped hyaena (*Hyaena hyaena*). *PLoS ONE* 17(2): e0260807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260807>
- Rödder, D., Engler, J. O., Bonke, R., Weinsheimer, F., & Pertel, W. (2010). Fading of the last giants: an assessment of habitat availability of the Sunda gharial *Tomistoma schlegelii* and coverage with protected areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(6), 678-684. <https://doi.org/10.1002/aqc.1137>
- Rödder, D. (2009). How to predict the future? On niches and potential distributions of amphibians and reptiles in a changing climate, Doctoral dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. <https://hdl.handle.net/20.500.11811/4157>
- Schilling-Tóth, B. M., Belcher, S. M., Knotz, J., Ondrašovičová, S., Bartha, T., Tóth, I., Zsarnovszky, A., & Kiss, D. S. (2024). Temperature-dependent sex determination in crocodilians and climate challenges. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 14(13), 2015. <https://doi.org/10.3390/ani14132015>
- Shafieezadeh M, Moradi H, Fakheran S, Pourmanafi S. Modeling Focal-Species Habitat Suitability for Biodiversity Conservation Planning in the Southeastern Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 2018; 7 (3) :51-66. <http://doi.org/10.29252/ijae.7.3.51> (In Persian).
- Sobral-Souza, T., Santos, J. P., Maldaner, M. E., Lima-Ribeiro, M. S., & Ribeiro, M. C. (2021). EcoLand: A multiscale niche modelling framework to improve predictions on biodiversity and conservation. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 362-368. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.03.008>
- Sun, X., Long, Z., & Jia, J. (2021). A multi-scale Maxent approach to model habitat suitability for the giant pandas in the Qionglai mountain, China. *Global Ecology and Conservation*, 30, e01766. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01766>
- Terrado, M., Sabater, S., Chaplin-Kramer, B., Mandle, L., Ziv, G., & Acuña, V. (2016). Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. *Science of the total environment*, 540, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.064>