



Assisted Migration and Protected Area Boundary Adjustment as Climate Adaptation Strategies to Supporting the Survival of TSD Reptiles (Lessons from *Crocodylus Palustris*)

Malihe Erfani^{1*}, Abdolrassoul Salmanmahiny²

¹ Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

² Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 14 July 2025

Revised: 24 August 2025

Accepted: 04 September 2025

Available Online: 10 September 2025

Keywords:

Climate Change

Temperature-dependent Sex Determination (TSD)

Habitat Suitability Modeling

Assisted Migration

Climatic Refugia

Human/Crocodile Conflicts

ABSTRACT

Climate change can have profound impacts on aquatic ecosystems and associated species, particularly reptiles with temperature-dependent sex determination (TSD). This study aimed to evaluate assisted migration and adjustments to protected area boundaries as strategies to support the survival of the marsh crocodile (*Crocodylus palustris* Lesson, 1831) under climate change. To this end, changes in habitat suitability were projected under four climate scenarios up to 2070 to identify potential climatic refugia. Modeling results indicated that a portion of the Gando Protected Area would remain suitable under the RCP2.6 scenario, whereas the entire area would become unsuitable under other scenarios. Consequently, reliance on current protected area management alone is insufficient for species conservation, emphasizing the necessity of assisted migration. Accordingly, a revised boundary for the Gando Protected Area was proposed based on the results, incorporating climatic refugia, population critical zones, potential human crocodile conflict areas, and natural watershed boundaries. Permanent monitoring plots were also established, and priority sites for feasibility studies on species translocation to new habitats were mapped.

* Corresponding author: Malihe Erfani

E-mail address: maliheerfani@uoz.ac.ir

How to cite this article: Erfani, M., & Salmanmahiny, A. (2025). Assisted Migration and Protected Area Boundary Adjustment as Climate Adaptation Strategies to Supporting the Survival of TSD Reptiles (Lessons from *Crocodylus Palustris*). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(4), 251-272. <https://doi.org/10.22067/geoe.2025.94244.1592>



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Climate change is an inevitable ecological change that can significantly impact aquatic ecosystems and their dependent species, particularly reptiles with temperature-dependent sex determination (TSD). Therefore, this study aimed to evaluate assisted migration and adjustments to protected area boundaries as strategies to support the survival of the marsh crocodile (*Crocodylus palustris* Lesson, 1831) under the influence of climate change.

Material and Methods

Southeast Iran was selected as the study area, which includes the northwesternmost extent of the global distribution of the marsh crocodile. For this purpose, changes in the suitable habitat range of the marsh crocodile under four climate scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5) through the year 2070 were projected using maximum entropy modeling (MaxEnt) and bioclimatic variables from the KGClim_V1 data bank. The MTSS threshold was used to classify the habitat suitability layer based on historical data and future scenarios. The common suitable areas in historical and future data indicated climatic refuges for this species.

By overlaying Boolean layers representing potential changes in habitat suitability due to climate change with the Gando Protected Area layer- as the species' main habitat- the feasibility of future species conservation was assessed through the designation of restoration zones or boundary adjustments of protected areas. The network of protected areas was also examined in supporting the survival of the species in the future.

In addition to analyzing the population trend using previous studies and expert opinions from field observations, critical population areas were also mapped based on changes in habitat suitability. For this purpose, based on the Boolean layers of historical and future habitat suitability, zones were classified from low-risk (suitable under both historical and all four future scenarios) to high-risk (suitable only under the historical and one future scenario).

To identify potential future human/crocodile conflicts, settlements (cities and villages) and road networks were overlaid with historically and future-predicted suitable habitat areas (areas common across all four climate scenarios).

Based on the results and the natural boundaries of watersheds, a revised boundary for the Gando Protected Area was proposed.

Also, permanent population monitoring plots for the species were identified in this area based on the results of the modeling and the species' presence. Finally, priority areas for conducting local studies on assisted migration were identified within the main watershed of the species' distribution and its neighboring watershed.

Results and Discussion

The modeling results showed that in all climate scenarios, an increase in the area of the suitable habitat area is expected by 2070, with the largest increase in the RCP2.6 scenario and the smallest in RCP6.0. It was also predicted that part of the Gando Protected Area would fall outside the suitable habitat under RCP2.6, and the entire area would become unsuitable under the other scenarios. Similarly, other protected areas will not fall within the projected suitable habitat areas.

Consequently, depending only on the management of protected areas or establishing restoration zones within them will not be enough to conserve this species. This phenomenon is attributed to temperature-dependent sex determination (TSD) in the species, where fluctuations in temperature can influence the sex ratio of hatchlings, potentially resulting in long-term changes in the population's structure and composition. Therefore, revising protected area boundary and implementing management strategies that support the assisted migration of this species are necessary conservation actions. In this regard, a revised boundary for the Gando Protected Area was proposed based on the results of modeling including: climatic refuges,

population critical areas, historical species distribution, crocodile/human conflict, and consideration of watershed boundaries.

The permanent plots were also located for monitoring the population of the marsh crocodile. Additionally, spatial prioritization for feasibility studies on the species' assisted migration to new habitats was conducted in the southern Balochestan watershed—the primary distribution area of the species—and in the adjacent watershed (Bandar Abbas–Sedij). Projected areas of human/crocodile conflict by 2070 were also identified.

Conclusion

The present study was conducted to investigate the possibility of protecting the marsh crocodile in the Gando Protected Area, and showed that in addition to the Gando Protected Area, which is the main habitat of the species, the existing network of protected areas will not be effective in supporting the survival of the species in the future. Maintaining the current habitat configuration or defining a restoration zone within climatically unsuitable portions of the protected area will not be feasible, as these areas are projected to become unsuitable under future climate scenarios. Given the high probability of habitat suitability shifts, assisted migration will be inevitable for the survival of the species.

The ability of the marsh crocodile to move according to climate change will increase the human/crocodile conflicts, and therefore, the migration path of the species should be consciously paved through assisted migration.

Accordingly, based on the modeling conducted, critical population areas and climatic refuges for the species were located to show the human/crocodile conflicts, propose a revised boundary for the Gando Protected Area, population monitoring plots for this species, and prioritize target sites for local and field-based feasibility studies supporting the implementation of assisted migration actions.

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 Department of Environment. The authors wish their full appreciation and sincere gratitude to all the respected officials and esteemed experts from the headquarters in and provinces who participated in the advancement of this project. 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.



مهاجرت کمکی و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده به عنوان استراتژی‌های سازگاری با اقلیم جهت حمایت از بقاء خزندگان TSD (درس‌هایی از *Crocodylus Palustris*)

ملیحه عرفانی^۱ ID، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲

^{۱*} گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۲ گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله:	تغییرات اقلیمی تأثیرات شدیدی بر اکوسیستم‌های آبی و گونه‌های وابسته، به‌ویژه خزندگان با تعیین جنسیت وابسته به دما (TSD) خواهد داشت. مطالعه حاضر با هدف بررسی امکان مهاجرت کمکی و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده جهت حمایت از بقاء گونه تمساح مردابی (<i>Crocodylus palustris</i> Lesson, 1831) تحت تأثیر تغییرات اقلیم انجام شد. به این منظور تغییرات گستره مطلوب زیستگاه گونه تحت سناریوهای تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ جهت شناسایی پناهگاه‌های اقلیمی پیش‌بینی شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که بخشی از منطقه حفاظت شده گاندو در سناریوی RCP2.6 و تمام آن در سایر سناریوها در خارج از محدوده مطلوب زیستگاهی قرار خواهد گرفت. همچنین سایر مناطق حفاظت شده نیز در محدوده‌های مطلوب زیستگاهی قرار نخواهند داشت. بنابراین با اتکا به مدیریت مناطق حفاظت شده نمی‌توان به حفاظت از این گونه پرداخت. از این رو اقدامات مدیریتی جهت مهاجرت کمکی این گونه ضروری است. در این رابطه مرز اصلاحی پیشنهادی برای منطقه حفاظت شده گاندو بر اساس نتایج به دست آمده شامل: پناهگاه‌های اقلیمی، مناطق بحرانی جمعیت و مناطق با تعارض تمساح/انسان و توجه به مرزهای طبیعی زیرحوزه‌های آبخیز پیشنهاد گردید. همچنین پلات‌های دائمی جهت پایش جمعیت تمساح مردابی و اولویت‌بندی انجام مطالعات امکان‌سنجی انتقال گونه به زیستگاه‌های جدید نیز نقشه‌سازی شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۳	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۳	
کلمات کلیدی:	
تغییرات اقلیمی	
تعیین جنسیت وابسته به دما (TSD)	
مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه	
مهاجرت کمکی	
پناهگاه اقلیمی	
تعارض تمساح/انسان	

مقدمه

تغییر اقلیم در چند دهه اخیر موجب بروز تأثیراتی عمیق بر روی تنوع زیستی شده است، از آن جمله می‌توان به تغییر در رفتار، فنولوژی (تنظیم چرخه زیستی متناسب با فصول) و زمان تولید مثل، تغییر زمان مهاجرت گونه‌های جانوری، طول دوره رشد، پراکنش، اندازه و بقای جمعیت‌ها، زیرجمعیت‌ها و گونه‌ها و فراوانی آفات و بیماری‌ها اشاره کرد (Newbold, Oppenheimer, Etard & Williams, 2020).

علاوه بر این، تغییرات اقلیمی الگوهای توزیع گونه‌ها را مختل کرده، مانع اتصال بین زیستگاه‌های آنها شده و در نتیجه باعث ناپدید شدن کریدورهای بوم‌شناختی و جلوگیری از مهاجرت گونه‌ها می‌شود. بر اساس برآوردهای انجام شده در صورتی که دمای جهانی از ۱.۵ درجه سانتیگراد فراتر رود، انقراض‌ها به سرعت تسریع می‌شوند (Urban, 2024). افزایش دما، تغییر در الگوهای بارش، وقایع اقلیمی شدید نظیر طوفان و باران‌های سنگین و دماهای بالای ثبت شده از دیگر جنبه‌هایی هستند که گونه‌ها، جامعه‌ها و زیست‌بوم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر موارد ذکر شده، تغییر اقلیم می‌تواند منجر به تغییرات شدید در تالاب‌ها و رژیم هیدرولوژیک آنها شود. بیشتر فرایندهای تالاب به شکل پیچیده و ظرفیتی وابسته به هیدرولوژی حوضه آبریز یا آب‌های ساحلی هستند که این می‌تواند تنوع زیستی و پدیده‌های مرتبط با گونه‌های تالابی را تحت تأثیر قرار دهد (Benateau, Gaudard, Stamm & Altermatt, 2019). ادامه روند تأثیرات تغییرات اقلیمی موجب انقراض گونه‌های در معرض تهدید و تخریب بیشتر زیستگاه‌های آنها نیز خواهد شد. ضمن اینکه توجه به این نکته بسیار ضروری است که در گونه‌هایی که دارای ویژگی تعیین جنسیت نوزاد توسط دما (TSD) هستند، نظیر تمساح‌ها و لاک‌پشت‌ها، تغییر دما منجر به تغییر جنسیت نوزادان و در نتیجه تغییر در ساختار و ترکیب جمعیت در طول نسل‌های آتی خواهد شد (Foden et al., 2016; Bock et al., 2020).

پراکنش گونه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی به صورت سلسله مراتبی از مقیاس‌های کلان و منطقه‌ای تا محلی قرار دارند. علاوه بر این، تغییرپذیری این عوامل نیز در طیفی از سطوح منطقه‌ای تا محلی متغیر است. متغیرهای اقلیمی از جمله متغیرهای مؤثر در مقیاس منطقه‌ای هستند که قبل از سایر فاکتورها بر پراکنش گونه‌ها مؤثرند (Erfani & Salmanmahiny, 2025). اهمیت این متغیرها خصوصاً برای گونه‌های کلیدی خونسردی چون تمساح مردابی (*Crocodylus palustris* Lesson, 1831) که زیستگاه آن مناطق تالابی آب شیرین بوده و نسبت جنسی نوزادان آن تحت تأثیر دمای محیط انکوباسیون قرار دارد دوچندان است (Grigg & Kirshner, 2015). تمساح مردابی به عنوان یک گونه در معرض تهدید و ثبت شده در طبقه آسیب‌پذیر در لیست سرخ IUCN نیز مورد توجه است که از بین رفتن زیستگاه در اثر تغییرات فصلی و سالانه مناطق تالابی از مهم‌ترین عوامل تهدید آن ذکر شده است (Chang et al., 2015; Heydari et al., 2022) و بنابراین اثرات تغییرات اقلیمی بر بقاء این گونه قابل توجه خواهد بود.

مناطق حفاظت شده پایه و اساس رویکردهای حفاظتی مدرن هستند. اهمیت آنها در حفاظت از تنوع زیستی در سراسر جهان نشان داده شده است و اجماع علمی واضحی وجود دارد که گسترش شبکه مناطق حفاظت شده برای حفظ و احیای اکوسیستم‌های طبیعی دست نخورده، حفاظت از تنوع زیستی، حمایت از خدمات اکوسیستم و دستیابی به راه‌حل‌های آب و هوایی طبیعی، حیاتی است (Dobrowski et al., 2021). در صورتی که تغییرات بوم‌شناختی در بخش‌هایی از مناطق حفاظت شده تحت تأثیر مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی رخ داده باشد، این مناطق در قالب زون بازسازی قرار گرفته و تلاش‌های مدیریتی معطوف به بازسازی این مناطق جهت احیاء کارکردهای بوم‌شناختی آن خواهد بود (Xie, Zhu, Bai, He & Zhang, 2024). جهت حمایت از زیست گونه‌های وحشی، تعریف، تغییر و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده اگر چه امکان پذیر بوده، اما بسیار چالش برانگیز است، چرا که عمده مناطق تحت تأثیر مداخلات انسانی ارزش‌های زیستگاهی خود را از دست داده و یا تحت کاربری‌های دیگر اداره و مدیریت می‌شوند (Ducros et al., 2023; Bao & Yang, 2024) و بنابراین احیاء بخش‌های آسیب دیده در محدوده مرزهای مناطق حفاظت شده در قالب زون بازسازی امکان‌پذیرترین مسیر جهت حفاظت از گونه‌ها است.

در مواجهه با تغییرات اقلیمی، گونه‌های جانوری و گیاهی با سه‌گزینه اساسی روبه‌رو هستند: سازگاری با شرایط جدید، مهاجرت به زیستگاه‌های مناسب‌تر و یا رویارویی با خطر انقراض (Xu & Prescott, 2024). نگرانی‌های فزاینده مبنی بر ناکارآمدی روش‌های سنتی حفاظت، مانند ایجاد مناطق حفاظت‌شده، در تأمین امنیت بلندمدت گونه‌ها در برابر تغییرات آب‌وهوایی، موجب ظهور راهبردهای نوین حفاظتی شده است. یکی از این راهکارهای پیشگیرانه جدید، مهاجرت کمکی است که انتقال عمدی گونه‌ها به مناطق جغرافیایی جدید را با توجه به پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم در برمی‌گیرد. مهاجرت کمکی، شکلی از جابه‌جایی حفاظتی است که در آن گونه‌ها از محدوده بومی خود به مناطقی منتقل می‌شوند که پیش‌بینی می‌شود تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، زیستگاه‌های مطلوبی برای آن‌ها فراهم می‌شود. این اقدام زمانی ضرورت می‌یابد که گونه‌ها به دلیل موانع طبیعی، جغرافیایی، یا محدودیت‌های زمانی قادر به پراکنش طبیعی و رسیدن به این مناطق نباشند (Hällfors et al., 2016). این رویکرد حفاظتی، اگرچه امیدوارکننده و ضروری است، اما پیچیدگی‌های بوم‌شناختی و اخلاقی خاص خود را دارد که نیازمند بررسی‌های دقیق علمی است.

امروزه توجه به مدل‌سازی توزیع گونه‌ها (SDM) در بررسی‌های زیست‌شناسی حفاظت و بوم‌شناختی رو به افزایش است. این گونه مدل‌سازی‌ها در تلاش هستند تا به سؤال‌های جغرافیای زیستی و تکاملی، نمایه‌های زیست‌شناختی، اثر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در توزیع گونه‌ها و گسترش تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی از جمله مهاجرت کمکی پاسخ دهند (Vasconcelos et al., 2024). با این وجود مطالعات انجام شده بر روی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی در ایران و برخی از کشورها شامل مطالعات اندکی است که در آنها اصلاح مرز شبکه مناطق حفاظت شده و امکان‌سنجی مهاجرت کمکی، گونه بررسی نشده است. در مطالعه انجام شده توسط مبارکی و همکاران (Mobaraki, Erfani, Abtin & Ataie, 2018) مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی توسط عوامل مختلفی چون فاکتورهای محیط‌زیستی شامل ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی NDVI، دما، بارندگی، فاصله از سکونتگاه‌های شهری، سکونتگاه‌های روستایی، جاده و رودخانه‌ها به روش MaxEnt مدل‌سازی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مهم‌ترین متغیرهای زیستگاهی، فاصله از رودخانه، دما و ارتفاع از سطح دریا بوده و بخش عمده منطقه مطلوب زیستگاهی با مساحت ۳۱۲ کیلومتر مربع در خارج از منطقه حفاظت شده گاندو قرار دارد. شفیعی زاده و همکاران (Shafieezade, Moradi, Fakheran & Pourmanafi, 2018) نیز مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی را در کنار چند گونه دیگر ارزیابی کردند. آنها نشان دادند که تنها ۱۵ درصد از زیستگاه‌های حساس تحت پوشش مناطق حفاظت شده هستند. حیدری و همکاران (Heydari et al., 2022) در ۴۳ ایستگاه مطالعاتی در حوزه پراکنش تمساح مردابی نشان دادند که جمعیت این گونه در سال‌های مختلف دارای نوساناتی بوده و بسیار تحت تأثیر شرایط خشکسالی قرار دارد. در مطالعه انجام شده توسط مبارکی و همکاران نیز نشان داده شد که مناطق مطلوب زیستگاهی تمساح مردابی در جهان تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در آینده تکه‌تکه‌تر و به مناطق درون خشکی کشیده خواهد شد. آنها ایران و شمال هند را به عنوان مهم‌ترین نواحی پراکنش این گونه در آینده معرفی کردند (Mobaraki et al., 2023). عرفانی و سلمان ماهینی (Erfani & Salmanmahiny, 2025) در مطالعه خود وضعیت مطلوبیت تاریخی زیستگاه تمساح مردابی را با روش حداکثر بی‌نظمی و داده‌های زیست‌اقلیم استخراج شده از دیتا بانک مدل KGclim_V1 انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که مناطق مطلوب زیستگاهی در مناطق کم بارش قرار دارند و مؤثرترین متغیرهای اقلیمی نیز میانگین دمای سالانه، بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال و بارندگی گرم‌ترین ماه در نیمه سرد سال است. مطالعاتی نیز در کشورهای مختلف بر روی سایر گونه‌های تمساح با استفاده از داده‌های زیست‌اقلیم انجام شده است که می‌توان به مطالعات رودر و همکاران (Rödter, Engler, Bonke, Weinsheimer & Pertel, 2010)، ایهلو و همکاران (Ihlow et al., 2014) و عابدین و همکاران (Abedin et al., 2025) اشاره نمود.

مطالعات انجام شده بر روی سایر گونه‌های دارای خصوصیت TSD نیز بر افزایش خطر انقراض گونه‌ها به دلیل تغییرات اقلیمی و نیاز فوری به کاهش اثرات تخریب زیستگاه و فعالیت‌های انسانی بر توزیع بالقوه آنها در آینده تأکید دارد. این موضوع بر روی ۵۲۸۲ گونه خزنده در مقیاس جهانی (Li, Shao, Jiang, Yan & Liao, 2024)، ۳۰ گونه خزنده و دوزیست بومی بیابان در ایالات متحده و مکزیک (Sinervo et al., 2024)، ۱۶ گونه خزنده در مراکش (Elbahi et al., 2024) و ده گونه سوسمار از جنس *Diploderma* (Xiao et al., 2025) به اثبات رسیده است.

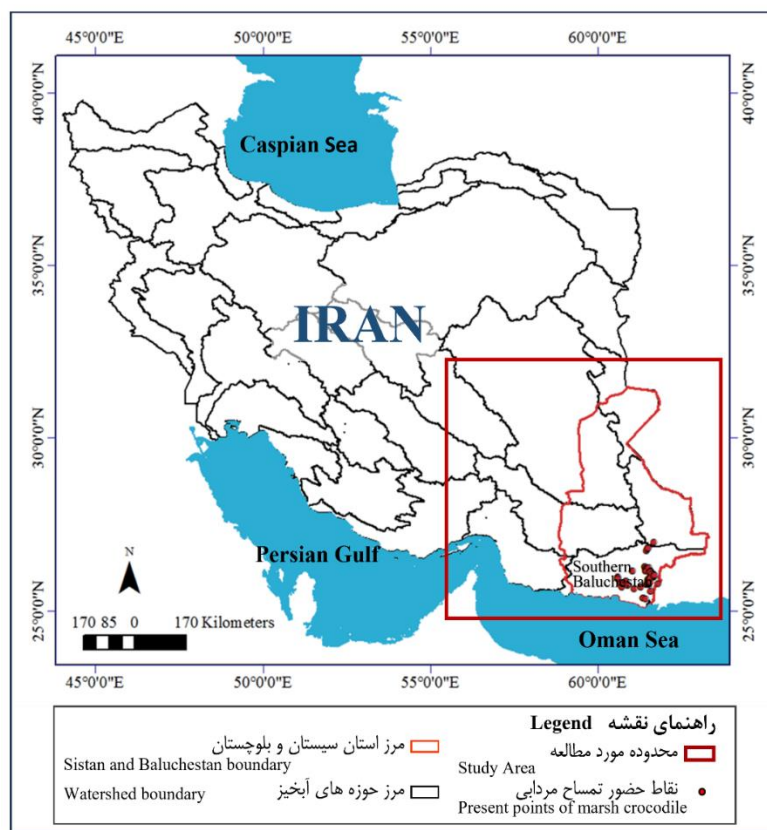
مکان‌یابی تغییرات زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های حساس به تغییرات اقلیم در آینده می‌تواند در مدیریت و حفاظت آنها از جمله دانستن وضعیت مطلوبیت زیستگاه‌ها، چگونگی افزایش یا کاهش مطلوبیت آنها و معرفی گونه به زیستگاه‌های جدید مؤثر باشد. همچنین بررسی کفایت مناطق حفاظت شده و امکان تعریف زون بازسازی جهت حفاظت از گونه‌ها نیز با مدل‌سازی‌های مطلوبیت زیستگاه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی آشکار خواهد شد. با توجه به پیشینه‌ی ارائه شده و عدم وجود مطالعات مشابه، پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان مهاجرت کمکی و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده جهت حمایت از بقاء گونه تمساح مردابی تحت تأثیر تغییرات اقلیم انجام شد.

منطقه مورد مطالعه و نقاط حضور تمساح مردابی

جنوب‌شرقی ایران به‌عنوان منطقه مورد مطالعه، انتخاب شد که شمال‌غربی‌ترین گستره پراکنش جهانی تمساح مردابی را در برمی‌گیرد. از آنجا که هدف مطالعه با بررسی تغییرات مطلوبیت زیستگاه، تحت تأثیر تغییر اقلیم قابل حصول است، محدوده مورد بررسی فراتر از گستره پراکنش فعلی در نظر گرفته شد تا تغییرات بالقوه در مناطق وسیع‌تری تحلیل شود. به این منظور، محدوده‌ای با مختصات ۲۵ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۶۴ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد (شکل ۱). این گونه عمدتاً در ناحیه مکران، در جنوب استان سیستان و بلوچستان، در حوزه شهرستان‌های چابهار، راسک و دشتیاری و به‌ویژه در امتداد رودخانه‌های باهوکلالت (سرباز) و کاجو پراکنش دارد. زیستگاه اصلی آن در حوزه آبخیز رودخانه باهوکلالت، مشتمل بر رودخانه‌های فرعی، برکه‌ها و سدها، واقع شده است (بین عرض‌های ۲۵° تا ۲۷° شمالی و طول‌های ۶۰° تا ۶۱° شرقی). مهم‌ترین زیستگاه‌ها شامل رودخانه‌های سرباز، باهوکلالت، نهنگ، کاجو، سیرین کور، و برکه‌هایی مانند کلانی، احمدآباد، فیروزآباد، آزادی و دریاچه سد پیشین هستند (Abtin & Mobaraki, 2016). بخشی از پراکنش این گونه در منطقه حفاظت‌شده گاندو با وسعت ۳۸۲۵ کیلومتر مربع قرار دارد. با توجه به وابستگی شدید این گونه به منابع آبی، پراکنش آن در فصول پرآب افزایش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر با هدف بررسی امکان مهاجرت کمکی و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده جهت حمایت از بقاء گونه تمساح مردابی تحت تأثیر تغییرات اقلیم انجام شد. به این منظور در ابتدا مناطق بحرانی جمعیت در اثر تغییر اقلیم پیش‌بینی و در ادامه تعارض تمساح مردابی/انسان در سال ۲۰۷۰ نقشه‌سازی شد تا بر اساس این نتایج در خصوص امکان‌سنجی مهاجرت کمکی و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده بتوان اظهار نظر کرد. جهت تعیین مناطق بحرانی جمعیت در اثر تغییر اقلیم از مدل‌سازی مکسنت با کمک داده‌های حضور گونه و زیست‌اقلیم‌ها استفاده شد. شکل ۱ پراکنش نقاط حضور گونه و حوزه‌های آبخیز اصلی را نشان می‌دهد. نقاط حضور این گونه به عنوان متغیر وابسته جهت هماهنگی با متغیرهای مستقل یعنی متغیرهای زیست‌اقلیم (میانگین بلندمدت داده‌های اقلیمی) در فاصله بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ با مرور منابع و بازبینی میدانی به دست آمد (Mobaraki et al., 2018; Erfani & Salmanmahiny, 2025). به این ترتیب امکان ثبت مناطق مطلوب که تحت تأثیر فاکتورهای محلی در برخی از سال‌ها امکان حضور گونه را نداشتند نیز مهیا و تا حد زیادی از مطلوبیت نقاط حضور از نظر فاکتورهای کلان اقلیمی اطمینان حاصل شد.



شکل ۱- موقعیت پراکنش نقاط حضور تمساح مردابی در محدوده مورد مطالعه و حوزه‌های آبخیز
Fig.1. Location of distribution of marsh crocodile presence points in the study area

انتخاب پایگاه داده‌های زیست‌اقلیم مناسب از نظر مقیاس مکانی و زمانی

زیست‌اقلیم به عنوان 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, Bangelesa, Paeth & Hertig, 2023). متغیرهای مستقل در این پژوهش فاکتورهای زیست‌اقلیمی بوده که این داده‌ها میانگین بلندمدت داده‌های اقلیمی هستند. دیتا بانک‌های مختلفی برای فاکتورهای زیست‌اقلیمی با پوشش، درجه تفکیک و تعداد متغیرهای متفاوت وجود دارند. تعداد فاکتورهای زیست‌اقلیمی در این دیتا بانک‌ها بین ۹ (Booth, 2022) تا ۱۹ (Fick & Hijmans, 2017) متغیر است. با مقایسه دیتا بانک‌های مختلف، بهترین آنها به لحاظ به روز بودن و دقت و صحت مکانی انتخاب گردید. بر اساس بررسی صورت گرفته بالاترین دقت مکانی داده‌های زیست‌اقلیمی جهانی با درجه تفکیک مکانی یک کیلومتر مربع بوده که مورد توجه این مطالعه قرار گرفت. این دیتا بانک‌ها شامل WorldClim (Fick & Hijmans, 2017)، KGclim (Cui, Liang, Wang & Liu, 2021) و CHELSA (Karger et al., 2021) است که از نظر میزان صحت مکانی و ارائه جزئیات جهت تطابق با واقعیت زمینی مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به اینکه در توسعه دیتا بانک KGclim_V1 از بسیاری از داده‌های سایر دیتا بانک‌ها مانند WorldClim V2، CHELSA V1.2، CRU TS v4.03، GPCC، UDEL و برای پیش‌بینی‌های آینده از داده‌های زیرمقیاس‌سازی شده و از نظر اریبی اصلاح گردیده سی مدل جهانی اقلیم CMIP5 از پایگاه داده CCAFS استفاده شده است، رویکرد ترکیبی و روش‌های تصحیح اریبی به کار رفته در تولید این دیتا بانک منجر به کاهش عدم قطعیت‌ها و بهبود دقت طبقه‌بندی آب و هوا شده است. از این رو این مجموعه داده، دقیق‌تر و با جزئیات بیشتری نسبت به سایر دیتا بانک‌ها بوده و توانایی ضبط دقیق تغییرات اخیر و پیش‌بینی شده را دارد. همچنین نقشه‌های متغیرهای

ارائه شده این دیتا بانک یک تصویر جامع از شرایط آب و هوایی ریز مقیاس سازی شده فراهم می آورد که بر اساس پوشش مداوم طولانی مدت ویژگی های اقلیمی به دست آمده و ضمن اینکه تصویر دقیقی بر اساس ویژگی های توپوگرافی ارائه می دهد با توزیع پوشش گیاهی نیز کاملاً منطبق است. از مزایای دیگر این دیتا بانک پوشش جامع آن است. این مجموعه داده شامل ده دوره تاریخی از سال ۱۹۷۹-۲۰۱۷ و چهار دوره آینده از ۲۰۲۰-۲۰۹۹ تحت چهار سناریوی اقلیمی مسیرهای نماینده ی غلظت گازهای گلخانه ای^۱ RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5 است که پوشش زمانی مداوم طولانی مدت را فراهم می کند. همچنین شامل ۱۲ متغیر زیست اقلیم با وضوح ۱ کیلومتر است که توضیحات مفصلی از میانگین سالانه، فصلی بودن و شرایط استرس زای آب و هوایی را ارائه می دهد که شامل میانگین دمای سالانه، دمای گرم ترین ماه، دمای سردترین ماه، بارندگی سالانه، بارندگی گرم ترین نیمه سال، بارندگی نیمه سرد سال، بارندگی ماه خشک، بارندگی خشک ترین ماه در نیمه گرم سال، بارندگی خشک ترین ماه در نیمه سرد سال، بارندگی مرطوب ترین ماه، بارندگی مرطوب ترین ماه در نیمه خشک سال و بارندگی گرم ترین ماه در نیمه سرد سال است (Cui et al., 2021). لازم به ذکر است که با توجه به اینکه جهت مدل سازی مطلوبیت زیستگاه، بین متغیرهای مستقل نباید همبستگی وجود داشته باشد (Lambert & Virgili, 2023) و اینکه در مطالعات قبلی غربالگری داده های زیست اقلیمی بر اساس میزان همبستگی بین آنها و میزان تنوع درون هر داده انجام شده است (Erfani & Salmanmahiny, 2025)، از هفت زیست اقلیم میانگین دمای سالانه، دمای گرم ترین ماه، بارندگی سالانه، بارندگی گرم ترین نیمه سال، بارندگی خشک ترین ماه در نیمه سرد سال، بارندگی مرطوب ترین ماه و بارندگی گرم ترین ماه در نیمه سرد سال در مطالعه حاضر استفاده شد.

پیش بینی مناطق بحرانی جمعیت و آشکارسازی تعارض تمساح مردابی / انسان در سال ۲۰۷۰

جهت پیش بینی مناطق بحرانی جمعیت و آشکارسازی تعارض تمساح مردابی / انسان در ابتدا مدل سازی حداکثر بی نظمی (MaxEnt) با کمک نرم افزار Maxent version 3.4.4 (Phillips, Dudik & Schapire, 2024) انجام شد. با استفاده از داده های حضور گونه به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای زیست اقلیمی به عنوان مستقل مدل مکسنت با ۱۵ بار تکرار اجرا شد تا بر اساس میانگین تکرارهای انجام شده، مناطق بالقوه مطلوب برای گونه در زمان حال، بر روی لایه های پیش بینی کننده اقلیم مدل KGCLim_V1 سال ۲۰۷۰ پروژکت شود. در این مرحله جهت پیش بینی تغییرات مطلوبیت زیستگاه بالقوه از داده های اقلیمی پیش بینی شده تحت چهار سناریوی اقلیمی آینده RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5 برای سال ۲۰۷۰ استفاده شد.

تنظیمات نرم افزار نیز مطابق با مطالعه عرفانی و سلمان ماهینی (Erfani & Salmanmahiny, 2025) انجام شد. بر این اساس مدل سازی با ۱۰۰۰ تکرار انجام شد و ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی پس زمینه به عنوان نقاط عدم حضور جهت محاسبه خطای ارتکاب انتخاب شد. نمونه گیری مجدد با ۱۵ تکرار بر اساس روش ارزیابی متقابل انجام شد و خروجی های مدل با فرمت Cloglog تهیه گردید. عملکرد مدل حداکثر آنتروپی با معیارهای کمی مساحت زیر منحنی (AUC^2) مورد سنجش قرار گرفت. به طور کلی AUC ۰/۷ تا ۰/۸ مدل خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ عالی و بیشتر از ۰/۹ پیش بینی بسیار عالی را نشان می دهد (Giovanelli, Siqueira, Haddad & Alexandrino, 2010).

پس از تهیه لایه های پیوسته مطلوبیت زیستگاه، از آستانه آموزش حداکثر حساسیت به علاوه ویژگی (MTSS) برای تهیه لایه های بولین نشان دهنده طبقات مطلوب و نامطلوب زیستگاهی استفاده شد. انتخاب MTSS به عنوان آستانه تولید لایه های بولین به دلیل به حداقل رساندن خطای پیش بینی بیش از حد^۳ و خطای حذف واقعی^۴ بود (El-Khalafy, El-Kenany, Al-Mokadem, Shaltout & Mahmoud, 2025).

- 1- Representative Concentration Pathway
- 2- Area Under the Curve
- 3- Commission (False Positive)
- 4- Omission (False Negative)

لایه‌های بولین مطلوبیت زیستگاه به دست آمده با داده‌های اقلیمی بلند مدت (وضعیت تاریخی مطلوبیت) با مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها در آینده (نتایج سناریوهای مختلف تغییر اقلیم) مقایسه شد تا تغییرات مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی تا سال ۲۰۷۰ آشکار شود و مناطق مشترک مطلوب تاریخی و آینده به عنوان پناهگاه‌های اقلیمی معرفی گردند.

در ادامه، مناطق بحرانی جمعیت نیز بر اساس تغییرات مطلوبیت زیستگاه نقشه‌سازی شد. به این منظور با توجه به لایه‌های بولین حال و آینده مطلوبیت زیستگاه، مناطق بدون ریسک (مطلوب در زمان حال و چهارسناریوی تغییر اقلیم) تا ریسک بالا (مطلوب در زمان حال و یکی از سناریوهای اقلیمی) پهنه‌بندی شدند. مناطق بدون ریسک در واقع پناهگاه‌های اقلیمی را نمایندگی می‌کنند و در اصلاح مرز مناطق حفاظت شده و امکان معرفی گونه به زیستگاه‌های جدید از طریق مهاجرت کمکی می‌توانند به کار روند (Sinervo et al., 2024).

با توجه به اینکه تلاقی سکونتگاه‌ها (شهرها و روستاها) با شبکه جاده‌ها و مناطق مطلوب زیستگاهی دارای بالاترین ریسک ایجاد تعارض تمساح/انسان است (Mobaraki, 2015)، لایه‌های این مناطق با لایه بولین مناطق مطلوب زیستگاهی حال و آینده (بخش مشترک بین چهار سناریوی اقلیمی) روی هم‌گذاری شد تا مناطق با تراکم بالای سکونتگاه و جاده در محدوده‌های مشترک مطلوب زیستگاهی به عنوان پرتعارض‌ترین مناطق شناسایی شوند.

روش بررسی کفایت شبکه مناطق حفاظت شده در حمایت از بقا تمساح مردابی

روی هم‌گذاری لایه‌های بولین تغییرات احتمالی مطلوبیت زیستگاه در اثر تغییرات اقلیم با مناطق حفاظت شده، نقش شبکه مناطق حفاظت شده را در حمایت از بقاء گونه‌ها نشان می‌دهد (Elbahi et al., 2024). از این رو روی هم‌گذاری لایه‌های بولین مذکور با لایه منطقه حفاظت شده گاندو به عنوان زیستگاه اصلی گونه، امکان حفاظت از گونه در آینده را با تعریف زون بازسازی یا اصلاح مرز مناطق حفاظت شده آشکار ساخت. همچنین شبکه مناطق حفاظت شده نیز در پشتیبانی از حیات گونه در آینده بررسی گردید.

روش‌های به کار رفته جهت امکان‌سنجی اصلاح مرز منطقه حفاظت شده گاندو و مهاجرت کمکی

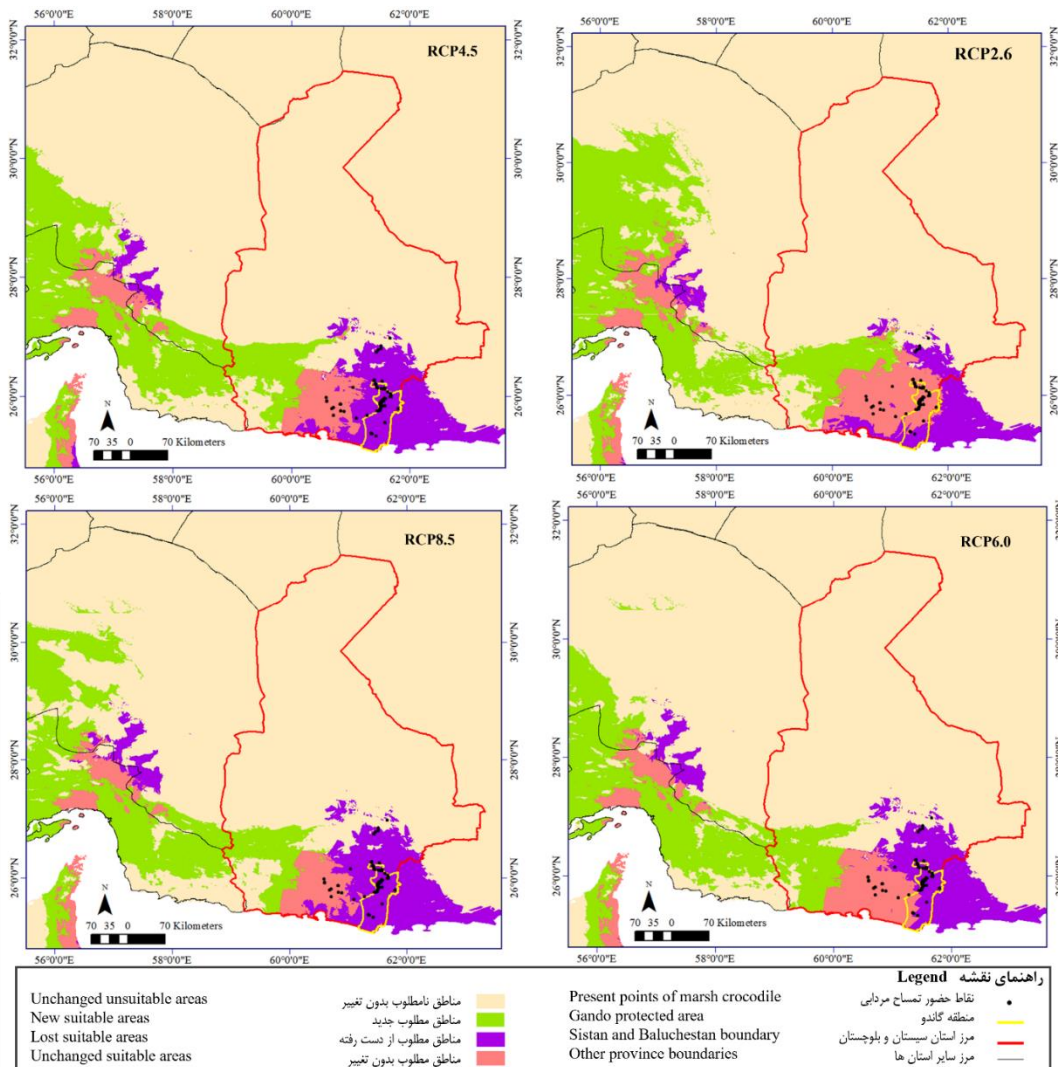
در این مرحله مرز اصلاحی پیشنهادی منطقه حفاظت شده گاندو بر اساس نتایج به دست آمده و توجه به مرزهای حوزه‌های آبخیز پیشنهاد گردید. همچنین پلات‌های دائمی پایش جمعیت گونه نیز در این محدوده با توجه به نتایج مدل‌سازی‌ها و امکان حضور گونه شناسایی شد. در نهایت اولویت‌بندی مناطق جهت انجام مطالعات محلی مهاجرت کمکی گونه در حوزه آبخیز اصلی پراکنش گونه و حوزه مجاور آن نیز شناسایی شد.

نتایج و بحث

پیش‌بینی تغییرات مساحت مناطق مطلوب زیستگاهی تمساح مردابی در آینده

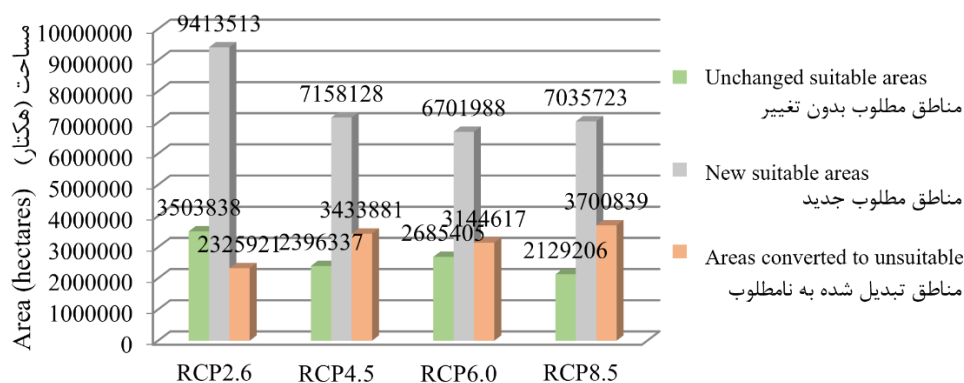
میانگین آماره AUC به دست آمده از اجرای مدل، کیفیت عالی و قابلیت پیش‌بینی بالای مدل در شناسایی مناطق مطلوب زیستگاهی را نشان داد (Mean: 0.98, SD: 0.012). بر اساس میانگین آستانه MTSS در ۱۵ بار تکرار مدل که عدد ۰/۰۳۱۹ به دست آمد، نقشه مطلوبیت زیستگاه به دو طبقه مطلوب و نامطلوب تفکیک و لایه بولین طبقه‌بندی شده برای شرایط تاریخی و آینده (۲۰۷۰) تحت سناریوهای مختلف به دست آمد. بر این اساس تغییرات مطلوبیت زیستگاه آشکار شد. شکل ۲ نتایج تغییرات مطلوبیت زیستگاه را برای چهار سناریوی اقلیمی آینده RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 تا سال ۲۰۷۰ نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، در تمام سناریوها افزایش وسعت منطقه مطلوب بر اساس تغییر زیست‌اقلیم‌ها در سال ۲۰۷۰ دیده می‌شود که این گسترش عمدتاً رو به غرب و کمی نیز به سمت شمال است. همچنین بیشترین مناطق مطلوبی که به نامطلوب تبدیل خواهند شد در قسمت‌های شرقی و جنوبی است که شدت این تغییرات از سناریوی RCP2.6 به RCP8.5 شدیدتر خواهد بود به نحوی که در بدترین سناریو یعنی سناریوی RCP8.5 عمده مناطق حضور گونه در حال حاضر در مناطق نامطلوب قرار خواهند گرفت. همچنین از سناریوی RCP4.5 به RCP8.5 عملاً منطقه حفاظت شده گاندو در خارج از محدوده مطلوب زیستگاهی واقع خواهد شد. شکل ۳ نیز میزان

این تغییرات را نشان می‌دهد که در آن سیر افزایشی تبدیل مناطق مطلوب به نامطلوب از ۳/۹ درصد تا ۶/۲۸ درصد مشهود است. مساحت مناطق مطلوب تاریخی ثابت در دوره مورد مطالعه در سناریوی ۲.۶، ۳۵۰۳۸۳۸ و در سناریوهای ۴.۵، ۶ و ۸.۵، بیشتر بوده و به ترتیب به ۲۳۹۶۳۳۷، ۲۶۸۵۴۰۵ و ۲۱۲۹۲۰۶ هکتار می‌رسد که به ترتیب ۵/۸۸، ۴/۰۲، ۴/۵۱ و ۳/۵۷ درصد است. همچنین مناطق نامطلوب تاریخی که به مطلوب تا سال ۲۰۷۰ تبدیل می‌شوند در سناریوی های ۲.۶، ۴.۵، ۶ و ۸.۵ به ترتیب برابر با ۹۴۱۳۵۱۳، ۷۱۵۸۱۲۸، ۷۰۳۵۷۲۳ و ۶۷۰۱۹۸۸ هکتار است که به ترتیب برابر با ۱۵/۸، ۱۲/۰۲، ۱۱/۲۵ و ۱۱/۸۱ درصد است.



شکل ۲- تغییرات گستره مطلوبیت زیستگاه بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

Fig.2. Changes in the extent of habitat suitability based on the climatic change scenarios

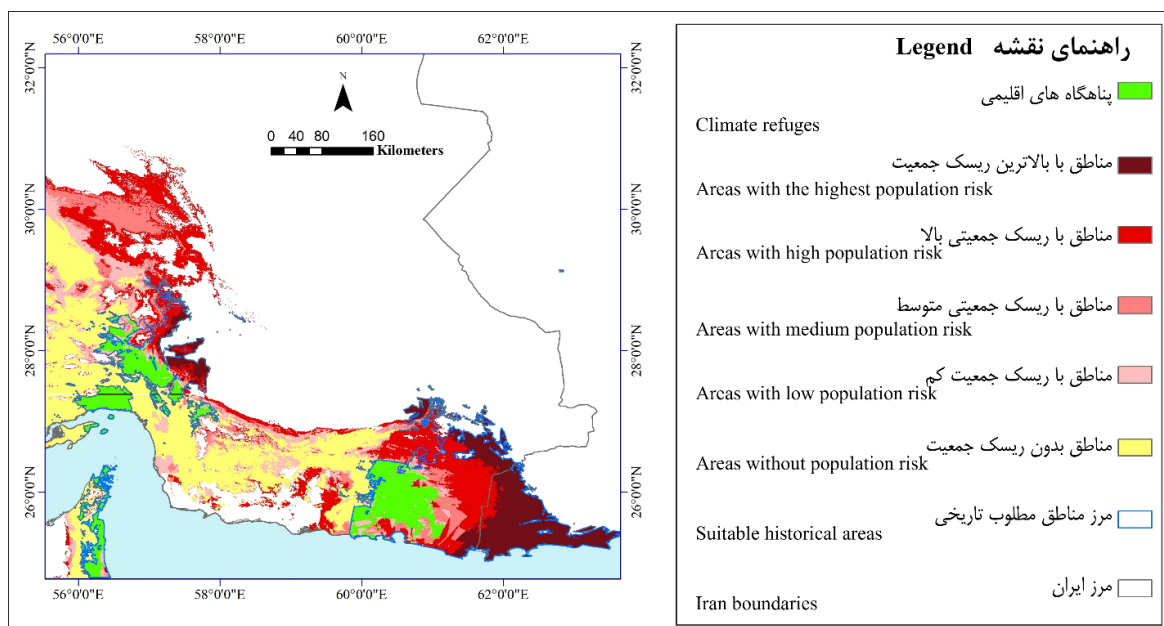


شکل ۳- تغییرات مساحت مناطق مطلوب و نامطلوب در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۷۰

Fig.3. Changes in the area of suitable and unsuitable areas during the period of 2017 - 2070

پیش‌بینی مناطق بحرانی جمعیت تمساح مردابی در اثر تغییرات اقلیم

شکل ۴ نقشه مناطق بحرانی جمعیت بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، مناطقی که تنها در یکی از سناریوهای تغییر اقلیم، مطلوب بوده و بنابراین دارای بالاترین ریسک جمعیتی در آینده خواهند بود، با بخش وسیعی از مناطق مطلوب تاریخی نیز همپوشانی دارند. مناطق با ریسک بالا و ریسک پایین جمعیتی نیز به ترتیب در دو و سه سناریو تغییر اقلیم مطلوب هستند و مناطقی که کاملاً از نظر تغییرات اقلیمی فاقد ریسک هستند در چهار سناریو تغییر اقلیم مطلوب باقی خواهند ماند. تلاقی مناطق بدون ریسک و مناطق مطلوب تاریخی نشان‌دهنده پناهگاه‌های اقلیمی است. این مناطق در اثر تغییرات اقلیمی، شرایط محیطی پایداری را برای گونه فراهم می‌کنند و به آنها اجازه می‌دهند از اثرات منفی تغییرات آب‌وهوایی در امان بمانند.



شکل ۴- پیش‌بینی پهنه‌های بحرانی جمعیتی تمساح مردابی تا سال ۲۰۷۰

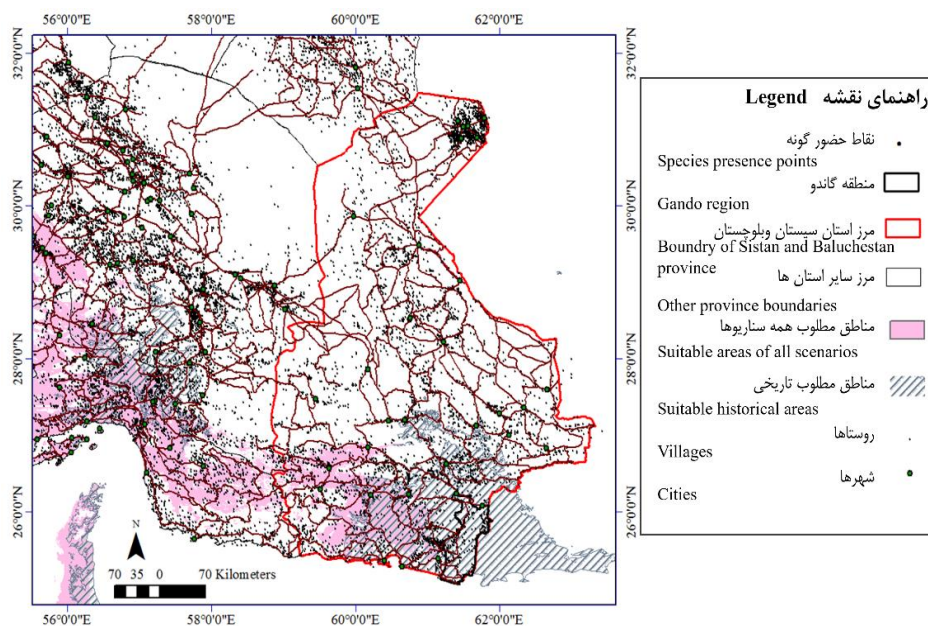
Fig.4. Predicted critical population zones of the marsh crocodile by 2070

آشکارسازی تعارض تمساح مردابی / انسان در سال ۲۰۷۰

با توجه به اینکه تلاقی سکونتگاه‌های انسانی با شبکه جاده‌ها و مناطق مطلوب زیستگاهی دارای بالاترین ریسک ایجاد تعارض بین تمساح/ انسان است، لایه این مناطق با مناطق مطلوب زیستگاهی حال و آینده (بخش مشترک بین چهار سناریوی اقلیمی) روی هم گذاری شد (شکل ۵). بر اساس شکل ۵ کمترین تعارض در محدوده منطقه حفاظت شده گاندو وجود دارد که با اثرات تغییر اقلیم وسعت زیادی از آن تبدیل به مناطق نامطلوب در آینده خواهد شد.

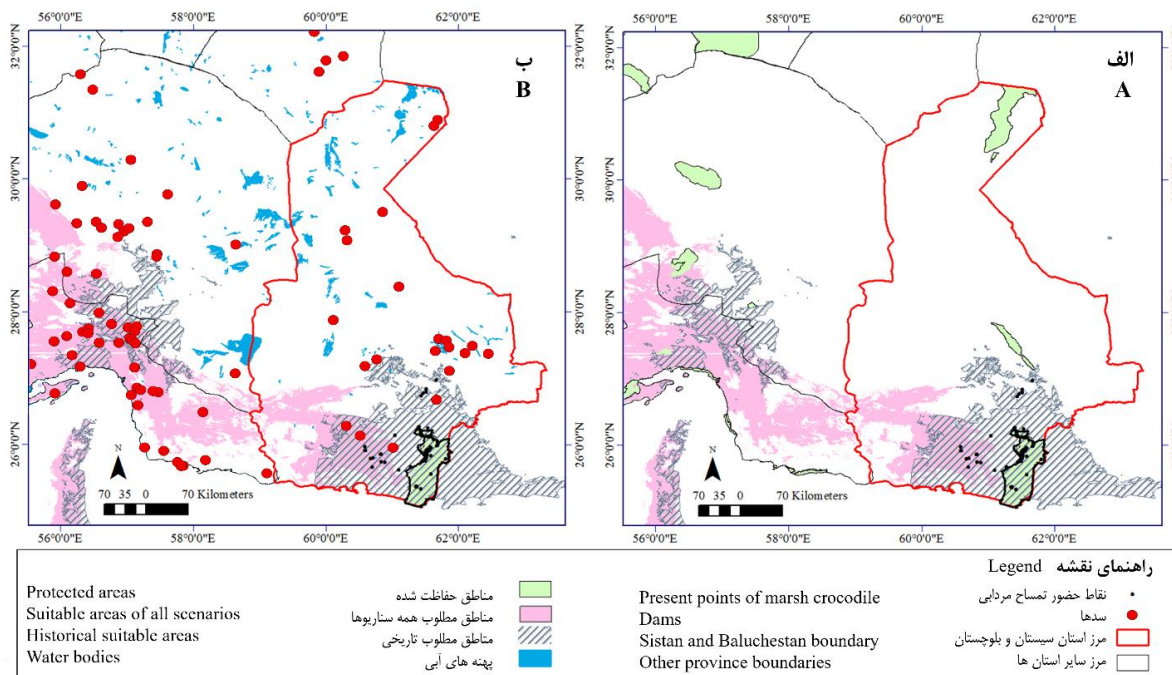
کفایت منطقه حفاظت شده گاندو در حفاظت از تمساح مردابی در آینده

بر اساس نتایج مدل‌سازی‌های انجام شده در بخش قبل تغییرات اقلیم منجر به عدم کفایت منطقه حفاظت شده گاندو جهت حمایت از زیست این گونه خواهد شد (شکل ۲). شکل ۶ فصل مشترک تقاطع مناطق مطلوب چهار سناریو تغییر اقلیم را با مناطق مطلوب تاریخی و به عبارتی پناهگاه‌های اقلیمی را نشان می‌دهد. در این شکل نیز به خوبی روشن است که پناهگاه‌های اقلیمی خارج از منطقه حفاظت شده گاندو قرار دارد. با توجه به عدم کارایی منطقه حفاظت شده گاندو در حمایت از بقا گونه در ادامه شبکه مناطق حفاظت شده نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۶ (الف) تقاطع مشترک مناطق مطلوب زیستگاهی تحت چهار سناریوی تغییر اقلیم و پراکنش مناطق حفاظت شده را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل شبکه مناطق حفاظت شده در آینده در محدوده‌های مطلوب زیستگاهی این گونه قرار ندارند و حتی با معرفی گونه به این مناطق به دلیل خصوصیت TSD آن، از ساختار جنسی جمعیتی پایداری برخوردار نخواهند بود. با این حال این شکل می‌تواند در توسعه شبکه مناطق حفاظت شده، مورد استفاده قرار گیرد و یا حتی جهت معرفی گونه در خارج از مناطق حفاظت شده نیز کاربرد دارد که در این صورت اگر چه ممکن است افزایش وسعت مناطق مطلوب زیستگاهی از نظر پارامترهای اقلیمی به نظر واقع‌های مثبت قلمداد شود، اما چالش اصلی که این گونه را در آینده تهدید می‌کند، عدم وجود منابع آب شیرین در گستره‌های مطلوب زیستگاهی است (شکل ۶ ب).



شکل ۵- تقاطع مناطق مطلوب زیستگاهی با سکونتگاه‌های انسانی و شبکه جاده‌ها جهت آشکارسازی مناطق بالقوه تعارض تمساح/انسان در آینده

Fig.5. Intersection of suitable habitat areas with human settlements and road networks to reveal potential areas of future human/crocodile conflicts



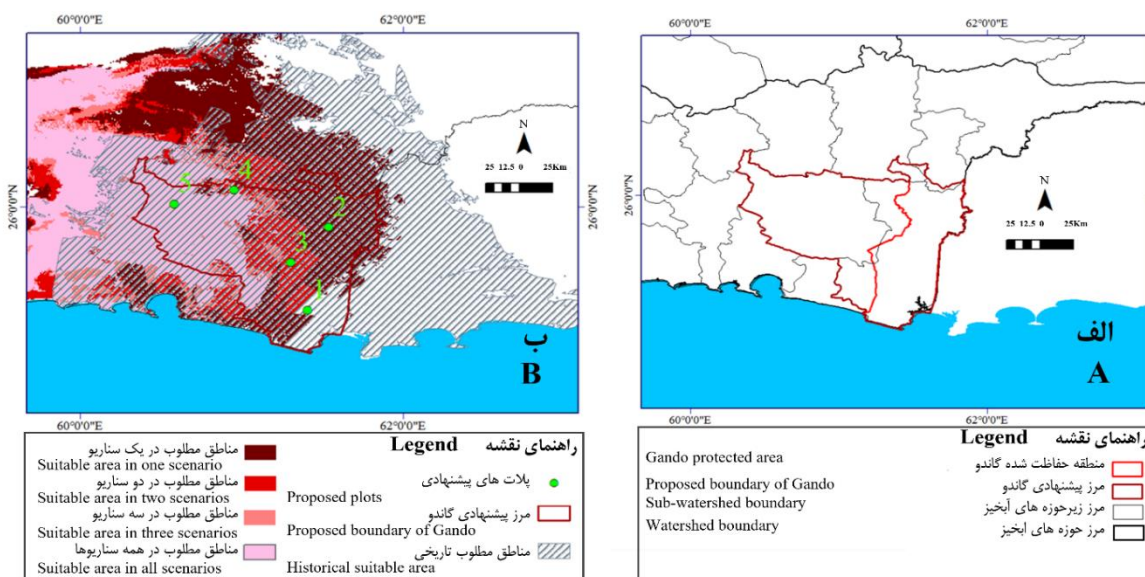
شکل ۶- تلاقی زیستگاه‌های مطلوب مشترک در چهار سناریوی اقلیمی با مناطق حفاظت شده (الف) و منابع آبی (ب)

Fig.6. Intersection of the common suitable habitats in four climate scenarios with protected areas (a) and water resources (b)

مرز پیشنهادی منطقه حفاظت شده گاندو و پلات‌های دائمی جهت پایش جمعیت تمساح مردابی

با توجه به وابستگی این گونه به مناطق تالابی آب شیرین، مهم‌ترین مسأله زیستگاهی آن وجود منابع آبی در مناطق مطلوب زیستگاهی حال و آینده است. از آنجایی که وجود منابع آبی تنها به مدیریت زیستگاه تاریخی و مجاور آن مرتبط نبوده، بلکه به کل حوزه آبخیز وابسته است، ماهیت پیوسته رودخانه‌ها را باید 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. با توجه به پیش‌بینی انجام شده تا سال ۲۰۷۰ بخش عمده و یا کل منطقه حفاظت شده گاندو خارج از محدوده مطلوب زیستگاهی از نظر فاکتورهای اقلیمی قرار خواهد گرفت، به عنوان پیشنهاد مدیریتی برای حفاظت این گونه اصلاح مرز و افزایش محدوده منطقه حفاظت شده مطرح می‌شود. شکل ۷ (الف) به عنوان مرز پیشنهادی برای منطقه حفاظت شده گاندو با در نظر گرفتن اثر تغییر اقلیم بر گونه تمساح مردابی، پناهگاه‌های اقلیمی، پراکنش نقاط حضور گونه و توجه به وجود کمترین تضاد تمساح مردابی با انسان توصیه می‌شود. همانطوری که تصویر نیز نشان می‌دهد با توجه به وابستگی گونه به مدیریت حوزه آبخیز در بالادست، این مرز منطبق بر مرز زیرحوزه‌های آبخیز انتخاب شده است.

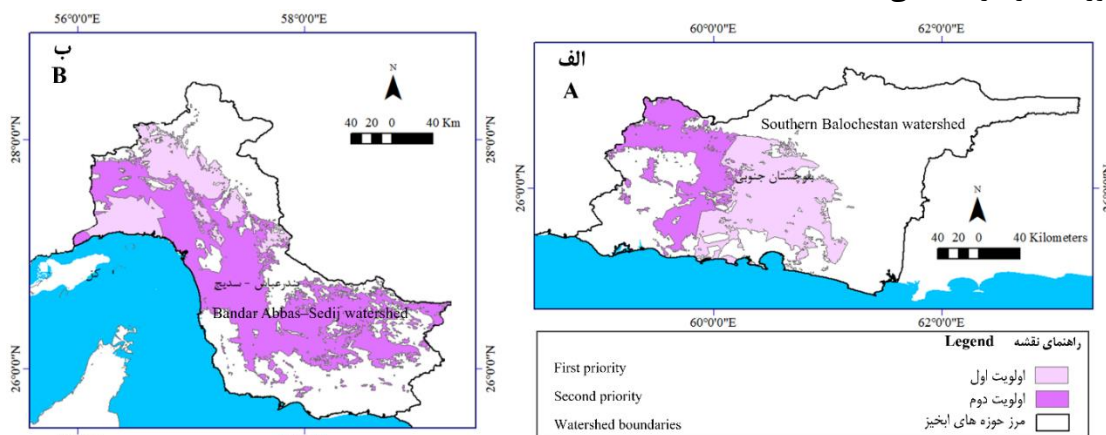
استقرار پلات‌های دائمی برای پایش گونه تمساح مردابی ضروری است که به عنوان پیشنهاد پلات‌های شکل ۷ (ب) ارائه شده است. محل این پلات‌های پیشنهادی در حال حاضر زیستگاه تمساح مردابی بوده و این گونه در این مکان‌ها مشاهده شده است. در این شکل پلات ۱ در منطقه مطلوب تاریخی قرار دارد که در تمام سناریوهای آینده خارج از منطقه مطلوب زیستگاهی قرار خواهد گرفت. پلات ۲ تنها در یک سناریو تغییر اقلیم مطلوب بوده و پلات‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب در دو، سه و چهار سناریو مطلوب خواهند ماند. به این ترتیب انتظار می‌رود که با پایش پنج پلات پیشنهادی اثر تغییر اقلیم بر روی زیستگاه و جمعیت این گونه قابل ردیابی باشد.



شکل ۷- مرز پیشنهادی منطقه حفاظت شده گاندو (الف) و پلات‌های دائمی پیشنهادی برای پایش جمعیت تمساح مردابی (ب)
Fig.7. Proposed boundary of the Gando Protected Area (a) and proposed permanent plots for monitoring the population of the marsh crocodile (b)

اولویت‌بندی مناطق مناسب مهاجرت کمکی

برای شروع انجام مطالعات امکان‌سنجی محلی انتقال گونه به زیستگاه‌های جدید، مکان‌های مشترک مطلوب حال و آینده توصیه می‌شود. بر این اساس شکل ۸ اولویت‌های اول و دوم مطالعه را برای حوزه‌های آبخیز بلوچستان جنوبی و بندر عباس- سدیح نشان می‌دهند. مناطق دارای اولویت نخست، پناهگاه‌های اقلیمی را در برمی‌گیرد که هم براساس داده‌های تاریخی و هم در تمامی سناریوهای تغییر اقلیم دارای مطلوبیت زیستگاه است. مناطق معرفی شده به عنوان اولویت دوم نیز شامل مناطقی است که در چهار سناریوی اقلیمی آینده مطلوب هستند. اگر چه حوزه پراکنش این گونه در حال حاضر تنها در حوزه آبخیز بلوچستان جنوبی است، اما با توجه به وجود مناطق مطلوب زیستگاهی به لحاظ فاکتورهای اقلیمی در حوزه آبخیز بندرعباس- سدیح، مکان‌های دارای اولویت در این حوزه آبخیز نیز شناسایی شد.



شکل ۸- مکان‌های با اولویت برای مطالعات امکان‌سنجی انتقال گونه به زیستگاه‌های جدید در حوزه‌های آبخیز بلوچستان جنوبی (الف) و بندرعباس- سدیح (ب)

Fig.8. Priority locations for feasibility studies of species translocation to new habitats in southern Baluchistan watershed (A) and Bandar Abbas-sedij watershed (B)

بحث و نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده در تمام سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 افزایش وسعت منطقه مطلوب زیستگاهی برای تمساح مردابی بر اساس تغییر فاکتورهای اقلیمی در سال ۲۰۷۰ دیده شد. این افزایش وسعت در سناریوی RCP2.6 بیشترین و در RCP6.0 کمترین مقدار است. در تمام موارد چه سناریوی اول که خوشبینانه‌ترین وضعیت را برای آینده متصور می‌کند و چه سناریوی چهارم که حاکی از بدترین وضعیت در آینده خواهد بود، گسترش مطلوبیت زیستگاه، رو به غرب و کمی نیز به سمت شمال است (شکل‌های ۲، ۳ و ۴). مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه که مبتنی بر زیست‌اقلیم‌های پایگاه داده KGClm انجام شده است، با یافته‌های مبارکی و همکاران (Mobaraki et al., 2023) که از داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی جهانی بر اساس سناریوهای ssp126، ssp245، ssp370 و ssp585 گزارش ششم IPCC و داده‌های بانک اطلاعاتی WorldClim در بازه زمانی ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰ بهره برده‌اند، نشان می‌دهد که محدوده‌های زیستگاهی مطلوب در مدل‌های مبتنی بر KGClm از پیوستگی مکانی بیشتری برخوردارند. همچنین، تفاوت در بازه زمانی مورد مطالعه از جمله عوامل تأثیرگذار بر تفاوت نتایج بین این پژوهش و مطالعه مذکور بوده است. با این حال با توجه به تفاوت در دوره‌های آماری و همچنین اصلاح اریبی‌ها و انطباق بالاتر با ویژگی‌های توپوگرافی و کاربری اراضی (Cui et al., 2021)، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های KGClm دقت اقلیمی بیشتری دارند. از این‌رو، متغیرهای مستقل استفاده شده در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در این مطالعه از اعتبار بالاتری برخوردارند. افزون بر این، داده‌های حضور گونه نیز در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ جمع‌آوری شده‌اند که همخوانی زمانی مناسبی با داده‌های اقلیمی KGClm دارند و می‌توانند به افزایش دقت مدل‌سازی کمک کنند. این مسئله در پژوهش‌های پیشین نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Erfani & Salmanmahiny, 2025).

مطالعه گونه‌های دارای خصوصیت TSD از جمله تمساح مردابی، با توجه به حساسیت بالا به تغییرات اقلیمی به عنوان بیواندیکاتورهای مهم تغییر اقلیم بیش از سایر گونه‌ها اولویت دارند، از این رو مورد توجه پژوهشگران بسیاری در سال‌های اخیر قرار گرفته‌اند (Elbahi et al., 2024; Sinervo et al., 2024; Li et al., 2024; Xiao et al., 2025). اما با وجود هشدارهای مکرر پژوهشگران در خصوص تأثیر افزایش دما بر عدم توازن نسبت جنسی و پویایی جمعیت تمساح مردابی (Bock et al., 2020; Mobaraki et al., 2023)، تاکنون ارزیابی فضایی و نقشه‌سازی نواحی بحرانی از منظر تغییرات اقلیمی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه حاضر با ارائه نقشه پهنه‌بندی ریسک جمعیتی، برای نخستین بار طیفی از مناطق بدون ریسک تا پر ریسک را مشخص کرده است. بر اساس این نتایج، بخش‌های غربی استان سیستان و بلوچستان در محدوده کم‌خطر قرار گرفته‌اند (شکل ۴) که می‌توانند به عنوان پناهگاه‌های اقلیمی بالقوه در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی مدنظر قرار گیرند.

تغییر زیستگاه در اثر تغییرات اقلیمی موجب افزایش تعارض تمساح/انسان خواهد شد. بر اساس نتایج به دست آمده کمترین تعارض در محدوده منطقه حفاظت شده گاندو وجود دارد که تحت تأثیر تغییر اقلیم وسعت زیادی از آن تبدیل به مناطق نامطلوب در آینده خواهد شد (شکل ۵). مناطق مطلوب در قسمت شمالی خلیج چابهار نیز دارای تضاد کمتری در آینده خواهد بود که با توجه به مجاورت با زیستگاه‌های مطلوب تاریخی، احتمال مهاجرت گونه را در صورت وجود پهنه‌های آبی بالا می‌برد. البته لازم به ذکر است در همه پهنه‌های آبی شیرین نیز این تعارض وجود دارد و با کمبود روزافزون آب شیرین، این تعارض از این جنبه نیز شدت خواهد گرفت. افزایش تعارض تمساح/انسان در اثر تغییرات اقلیمی برای گونه وابسته به آب شیرین دیگر از تمساح (*Gavialis gangeticus*) نیز تأیید شده است (Abedin et al., 2025). افرادی نیز تغییرات اقلیمی را به عنوان تقویت‌کننده قوی و در عین حال نادیده گرفته شده تعارض انسان و حیات وحش معرفی کرده‌اند، زیرا کمبود منابع را تشدید می‌کند، رفتارها و توزیع‌های انسان و حیوان را تغییر می‌دهد و از این رو تعارض انسان و حیات وحش را افزایش می‌دهد (Abrahms et al., 2023). اما تا کنون این تعارض برای تمساح مردابی به صورت مکانی در مطالعه‌ای بررسی نشده بود. با وجود این که رویه به کار رفته در مطالعه حاضر جهت نشان دادن مکان‌های احتمالی این تعارض کاربرد دارد، اما نیاز به مطالعات تکمیلی در این خصوص بوده که برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

بر اساس نتایج مدل‌سازی‌های انجام شده تغییرات اقلیم منجر به عدم کفایت منطقه حفاظت شده گاندو جهت حمایت از زیست این گونه خواهد شد (شکل‌های ۲ و ۶ الف). به نحوی که در خوشبینانه‌ترین سناریو یعنی RCP2.6 بخش جنوبی و شرقی این منطقه پتانسیل مطلوبیت زیستگاه خود را از دست خواهد داد و از سناریوی RCP4.5 به RCP8.5 کاملاً تبدیل به مناطق نامطلوب خواهد شد. شفیعی‌زاده و همکاران (Shafieezadeh, Moradi, Fakheran & Pourmanafi, 2018) نیز در بخشی از مطالعه خود در جنوب شرق ایران اقدام به ارزیابی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی کردند. آنها نشان دادند که تنها ۱۵ درصد از زیستگاه‌های حساس تحت پوشش مناطق حفاظت شده هستند که از نظر عدم کفایت مناطق حفاظت شده جهت حمایت از تنوع زیستی همراستا با نتایج مطالعه حاضر است. چنین نتایجی توسط برخی از پژوهشگران در نقاط دیگر دنیا نیز گزارش شده است (Sinervo et al., 2024).

همچنین با تغییر شرایط اقلیمی، تغییر گستره پراکنش گونه قابل انتظار خواهد بود. این تغییر پراکنش و جمعیت در شرایط خشکسالی و سیلابی بودن در مطالعات مختلف اثبات شده است (Mobaraki, 2015; Heydari et al., 2022) همچنین مطالعات دیگر بر روی برخی گونه‌های دیگر از خزندگان مانند جکو عنکبوتی ایرانی (Agamura persica) (Yousefkhani, Aliabadian, Rastegar, Pouyani & Darvish, 2017)، آگامای قفقازی (Paralaudakia caucasia)، مارمولک دم خاردار عراقی (Saara loricata) (Kafash, Kaboli & Köhler, 2015) و ۳۰ گونه خزنده دیگر (Vaissi, 2022) نیز در ایران نتایج مشابهی را با گسترش زیستگاه گونه‌های مورد مطالعه به شمال و غرب در آینده گزارش کردند. با وجود افزایش کلی محدوده‌های مطلوب پیش‌بینی شده در آینده، محدوده‌های مطلوب تاریخی حفظ نخواهند شد و کاهش وسعت زیستگاه‌های مطلوب کنونی قابل انتظار است. گسترش توزیع گونه‌ها رو به شمال یا ارتفاعات بالاتر و کاهش آنها در حاشیه‌های جنوبی و ارتفاعات پایین‌تر در نیمکره شمالی به دلیل انقراض‌های محلی و تغییر دامنه انتشار در برخی از مطالعات انجام شده در نیمکره شمالی نیز گزارش شده است (Sinervo et al., 2024).

اگرچه بر اساس پیش‌بینی‌های مدل، وسعت مناطق با شرایط اقلیمی مطلوب برای تمساح مردابی افزایش می‌یابد، اما مهم‌ترین چالش پیش‌روی این گونه در آینده، عدم تطابق بین این مناطق مطلوب و توزیع منابع آب شیرین مورد نیاز آن است. همان‌طور که در شکل ۶ (ب) مشاهده می‌شود، بسیاری از مناطق با قابلیت زیست‌پذیری آینده، فاقد منابع آب شیرین کافی برای بقای تمساح مردابی هستند. علاوه بر این، بیشترین کاهش در مطلوبیت زیستگاه‌ها در بخش‌های جنوبی محدوده پراکنش گونه مورد انتظار است که شامل مناطقی است که در حال حاضر از تنوع منابع آبی برخوردارند. در مطالعات انجام شده در هند نیز برای گونه‌ای دیگر از تمساح‌ها، این جابه‌جایی و افزایش وسعت منطقه مطلوب زیستگاهی در آینده پیش‌بینی شده است (Abedin et al., 2025). با توجه به توان سازگاری بالای گونه با زیستگاه‌های مصنوعی مانند استخرهای ذخیره آب، کانال‌ها و مخازن سدها، امکان بهره‌برداری از این نوع زیستگاه‌ها به‌عنوان پناهگاه‌های جایگزین در مواجهه با تغییرات اقلیمی وجود دارد، اما باید برای مکان‌های تخم‌گذاری خصوصاً در زیستگاه‌های سازه‌ای مانند سدها تدابیری اندیشیده شود (Mobaraki et al., 2023).

عدم کفایت منطقه حفاظت شده گاندو و همچنین شبکه مناطق حفاظت شده (شکل ۶) در حمایت از بقا گونه در اثر تغییرات اقلیم در آینده، ضرورت اصلاح مرز و شبکه مناطق حفاظت شده را آشکار ساخت. اگر چه فلسفه وجودی مناطق حفاظت شده به ندرت به دلیل سازگاری با اثرات تغییرات آب و هوایی بوده است، اما جهت گسترش شبکه مناطق حفاظت شده و اصلاح مرزهای آن نیاز به بازبینی در این تفکر است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده امکان تعریف زون بازسازی در محدوده منطقه حفاظت شده گاندو وجود ندارد، چرا که این منطقه در آینده خارج از پناهگاه اقلیمی قرار خواهد گرفت و تمساح مردابی به دلیل خصوصیت TSD (Foden et al., 2016)، از ساختار جنسی جمعیتی پایداری برخوردار نخواهد بود. بنابراین تغییر گستره مطلوب برای این گونه در آینده، قطعی است و باید تدابیری جهت حفظ گونه از طریق پیش‌بینی زیستگاه‌های جدید و کریدورهای ارتباطی جهت مهاجرت و یا انتقال گونه به مناطق غربی‌تر و شمالی‌تر اندیشید. ضرورت تغییر و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده مستقیماً توسط برخی از محققین اشاره شده است (Bao & Yang, 2024). همچنین در مطالعه‌ای دیگر نویسندگان با استفاده از مدل‌سازی حداکثر بی‌نظمی

به‌صراحت نشان دادند که چگونه بازطراحی زون‌ها و مرز مناطق حفاظت‌شده، در پاسخ به کمبود داده و فشارهای انسانی می‌تواند به شناسایی و تعیین اولویت زیستگاهی برای گونه‌های پرخطر و مدیریت مؤثرتر مرزها برای حمایت از آن‌ها منجر شود (Ducros et al., 2023). در مطالعه انجام شده در ایالات متحده و مکزیک نیز مهاجرت کمکی و حفاظت گونه‌ها در پناهگاه‌های اقلیمی (که در معرفی مناطق حفاظت شده جدید استفاده شده‌اند) به عنوان راهکارهای مؤثر برای حفاظت از گونه‌ها معرفی شده است (Sinervo et al., 2024). برخی نیز با تأکید بر ناکارآمدی پراکنش فعلی مناطق حفاظت‌شده، نتیجه گرفتند که اولویت‌گذاری حفاظتی باید به‌سوی نواحی کمتر حفاظت‌شده متمایل شود، چرا که بیشتر زیستگاه‌های حساس خزندگان در خارج از این مناطق قرار دارند (Elbahi et al., 2024).

بر اساس نتایج مدل‌سازی‌ها، پراکنش تاریخی نقاط حضور گونه، پناهگاه‌های اقلیمی و تعارض تمساح/انسان، مرز پیشنهادی برای منطقه حفاظت شده گاندو ارائه شد. لازم به ذکر است که جهت نهایی کردن مرز پیشنهادی برای منطقه حفاظت شده گاندو فاکتورهای بیشتری علاوه بر فاکتورهای اقلیمی در قالب مطالعه جداگانه‌ای مورد نیاز است و مرز پیشنهادی در شکل ۷ به عنوان مرز اولیه بر اساس فاکتورهای اقلیمی و نتایج مدل‌سازی این پژوهش مطرح است.

پیش جمعیت، نسبت جنسی و موفقیت تولید مثل در پلات‌های پیشنهادی این مطالعه (شکل ۷-ب) - که بازتابی از طیف اثرات اقلیمی در محدوده پیشنهادی برای منطقه حفاظت‌شده گاندو هستند - می‌تواند به شناسایی زود هنگام تهدیدهای ناشی از تغییر اقلیم کمک کند. از سوی دیگر، ویژگی‌های زیستی خاص این گونه، از جمله خونسرد بودن و وابستگی بالا به پارامترهای دمایی و آبی (TSD)، آن را به گونه شاخص برای سنجش اثرات تغییر اقلیم بدل کرده و به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای برنامه‌های مهاجرت کمکی مطرح می‌سازد. همچنین اگرچه در این مطالعه مکان‌های مناسبی به‌عنوان پناهگاه‌های اقلیمی برای مهاجرت کمکی گونه شناسایی شده‌اند، اجرای این انتقال مستلزم مطالعات میدانی و محلی تکمیلی است. بر این اساس، مکان‌های اولویت‌بندی‌شده در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان نقاط هدف در حوزه آبخیز اصلی و مجاور آن برای تحقیقات آتی پیشنهاد شوند (شکل ۸). با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی منجر به جابه‌جایی در گستره‌های مطلوب زیستگاهی می‌شوند، بازنگری در مرزهای مناطق حفاظت‌شده و افزایش وسعت آن‌ها در آینده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود؛ موضوعی که می‌تواند چالش‌هایی جدی با کاربری‌های انسانی پیرامونی ایجاد کند. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در طراحی مناطق جدید حفاظت‌شده، رویکردی انعطاف‌پذیرتر در زون‌بندی اتخاذ شود، به‌ویژه با الگوبرداری از ساختار ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره که امکان حضور انسان و بهره‌برداری محلی را در چارچوبی منعطف‌تر فراهم می‌سازند.

نکته بسیار مهم در مورد وضعیت حفاظتی گونه این است که طبقه‌بندی آن در فهرست IUCN به‌عنوان کمترین نگرانی (LC^۱) نشان می‌دهد که ملاک طبقه‌بندی عمدتاً مبتنی بر شرایط تاریخی گونه بوده است. در مقابل، پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم، آینده‌نگر بوده و می‌تواند نقش مؤثری در جهت‌گیری‌های حفاظتی ایفا کند. از این‌رو، کاهش چشم‌گیر زیستگاه‌های بالقوه مطلوب کنونی در آینده، پیش‌بینی افزایش تعارض با انسان، ناکافی بودن مناطق حفاظت‌شده و گسترش مناطق بحرانی برای بقای جمعیت، همگی عواملی هستند که باید در بازنگری وضعیت حفاظتی گونه مدنظر قرار گیرند. در صورت تغییر وضعیت گونه به آسیب‌پذیر (مطابق با معیارهای گروه B در طبقه‌بندی لیست قرمز IUCN)، می‌توان انتظار داشت که تلاش‌های حفاظتی در سطح ملی و بین‌المللی نیز تقویت شود. چنین رویکردی در مطالعه‌ای روی چند گونه سوسمار از جنس *Diploderma* نیز به‌کار رفته است؛ با وجود این که این گونه‌ها در طبقه LC قرار داشتند، اما به دلیل کاهش قابل توجه دامنه پراکنش پیش‌بینی‌شده در آینده، واجد شرایط برای طبقه‌بندی مجدد به‌عنوان گونه‌های آسیب‌پذیر معرفی شدند (Xiao et al., 2025).

همچنین لازم به ذکر است که تغییر نسبت جنسی نوزادان به نفع تولید فرزندان در اثر تغییرات اقلیم تا کنون برای گونه TSD دیگری (*Alligator mississippiensis*) گزارش شده است که ضرورت مطالعات دقیق تر بر آستانه‌های دمایی، نسبت جنسی و اثربخشی اقدامات مدیریتی در جمعیت‌های مختلف، به‌ویژه جمعیت‌های حاشیه‌ای و منزوی در ایران، را برای مطالعات آینده برجسته می‌سازد. با توجه به اینکه سازگاری (انعطاف‌پذیری فنوتیپی) می‌تواند خطر انقراض گونه‌ها را در اثر تغییرات اقلیم کاهش دهد، بررسی تغییرات فنوتیپی در جمعیت‌های پراکنده تمساح مردابی پیشنهاد می‌شود. این تغییرات به ندرت در مدل‌های اکوفیزیولوژیک گنجانده شده‌اند و تنها توسط پژوهشگران اندکی بر روی خزندگان دارای ویژگی TSD (Sinervo et al., 2024) مورد توجه قرار گرفته‌اند. بررسی مطالعات انجام شده خصوصاً بر روی خزندگان دارای ویژگی TSD نشان داد که سیر مطالعات مطلوبیت زیستگاه به سمت تلفیق آنها با مطالعات مورفولوژیکی، ژنتیکی و برآورد جمعیت مؤثر (Xiao et al., 2025; Xu et al., 2025) است که برای مطالعات آینده بر روی تمساح مردابی نیز توصیه می‌شود. همچنین با توجه به انتشار داده‌های جدیدتر در قالب گزارش ششم IPCC (AR6) و سناریوهای اجتماعی-اقتصادی SSP بر اساس مدل‌های CMIP6، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از این داده‌ها برای تحلیل‌های دقیق تر و مقایسه‌پذیر در خصوص آثار تغییر اقلیم بر روی گونه‌های خزنده TSD و سایر گونه‌ها استفاده شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، با هدف بررسی امکان مهاجرت کمکی و اصلاح مرز مناطق حفاظت شده جهت حمایت از بقاء گونه تمساح مردابی تحت تأثیر تغییرات اقلیم انجام شد و نشان داد که علاوه بر منطقه حفاظت شده گاندو که زیستگاه اصلی کنونی گونه است، شبکه مناطق حفاظت شده در آینده در حمایت از بقا گونه کارایی نخواهند داشت. عدم تغییر زیستگاه و یا به عبارتی تعریف زون بازسازی در محدوده منطقه حفاظت شده برای مناطق نامطلوب زیستگاهی از نظر اقلیمی نیز جهت حمایت از بقاء گونه به دلیل خصوصیت TSD گونه امکان‌پذیر نیست. زیرا هر گونه تغییر دمایی موجب تغییر جنسیت نوزادان و بالتبع تغییر در ساختار و ترکیب جمعیت گونه در آینده خواهد شد. با توجه به احتمال بالای تغییر مطلوبیت زیستگاه در آینده، مهاجرت کمکی جهت بقاء گونه اجتناب ناپذیر خواهد بود. قابلیت جابه‌جایی تمساح مردابی با وجود تغییرات اقلیمی تعارض تمساح/انسان را بالا خواهد برد و بنابراین باید آگاهانه مسیر مهاجرت گونه را از طریق مهاجرت کمکی هموار کرد. در این رابطه بر اساس مدل‌سازی‌های انجام شده، مناطق بحرانی جمعیت و پناهگاه‌های اقلیمی برای گونه مکان‌یابی شد تا ضمن نشان دادن تعارض تمساح/انسان، مرز پیشنهادی برای اصلاح منطقه حفاظت شده گاندو و پلات‌های پایش جمعیت این گونه نیز شناسایی و برای اقدامات عملی مهاجرت کمکی گونه نیز مکان‌های با اولویت جهت مطالعات تکمیلی محلی و میدانی پیشنهاد شد.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله، تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

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

سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۴۰۲/۶۰۰/۵۵۷۵۵ مورخ ۱۴۰۲/۱۲/۸ از محل اعتبارات سازمان حفاظت محیط زیست 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. 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 آید.

References

- Abedin, I., Singha, H., Singh, S., Mukherjee, T., Kim, H-W., & Kundu S. (2025). Riverine Realities: Evaluating Climate Change Impacts on Habitat Dynamics of the Critically Endangered Gharial (*Gavialis gangeticus*) in the Indian Landscape. *Animals*, 15(6), 896. <https://doi.org/10.3390/ani15060896>
- Abrahms, B., Carter, N. H., Clark-Wolf, T. J., Gaynor, K. M., Johansson, E., McInturff, A., ... & West, L. (2023). Climate change as a global amplifier of human–wildlife conflict. *Nature Climate Change*, 13(3), 224-234. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01608-5>
- Abtin, A., & Mobaraki, A. (2016). *Gandou: Marsh Crocodile in Iran*. Tehran: Talaie Publication. [In Persian]
- Bao, S., & Yang, F. (2024). Identification of potential habitats and adjustment of protected area boundaries for large wild herbivores in the Yellow-River-Source National Park, China. *Land*, 13(2), 186. <https://doi.org/10.3390/land13020186>
- Benateau, S., Gaudard, A., Stamm, C., & Altermatt, F. (2019). *Climate change and freshwater ecosystems: Impacts on water quality and ecological status*. Eawag, Dübendorf. <http://dx.doi.org/10.5167/uzh-169641>
- Bock, S. L., Lowers, R. H., Rainwater, T. R., Stolen, E., Drake, J. M., Wilkinson, P. M., ... & Parrott, B. B. (2020). Spatial and temporal variation in nest temperatures forecasts sex ratio skews in a crocodilian with environmental sex determination. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1926), 20200210. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2020.0210>
- Booth, T. A. (2022). Checking bioclimatic variables that combine temperature and precipitation data before their use in species distribution models. *Austral Ecology*, 47(5), 1–12. <https://doi.org/10.1111/aec.13234>
- 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*, 1–33. <https://doi.org/10.5194/essd2021-53>
- Dobrowski, S. Z., Littlefield, C. E., Lyons, D. S., Hollenberg, C., Carroll, C., Parks, S. A., ... & Gage, J. (2021). Protected-area targets could be undermined by climate change-driven shifts in ecoregions and biomes. *Communications Earth & Environment*, 2(1), 198. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00270-z>
- Ducros, D., Devillers, R., Messenger, A., Suet, M., Wachoum, A. S., Deschamps, C., ... & Defos du Rau, P. (2023). Planning from scratch: A new modelling approach for designing protected areas in remote, data-poor regions. *Journal of Applied Ecology*, 60(9), 2018-2030. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14470>
- Elbahi, A., Dugon, M., Oubrou, W., El Bekkay, M., Hermas, J., & Lawton, C. (2024). Modelling the ecological niches of reptiles in highly biodiverse protected areas. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/24749508.2024.2429227>
- El-Khalafy, M. M., El-Kenany, E. T., Al-Mokadem, A. Z., Shaltout, S. K., & Mahmoud, A. R. (2025). Habitat suitability modeling to improve conservation strategy of two highly-grazed endemic plant species in saint Catherine Protectorate, Egypt. *BMC Plant Biology*, 25(1), 485. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06401-4>
- 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. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jes.2025.385203.1008549>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Foden, W., Garcia, R., Platts, P., Carr, J., Hoffmann, A., & Visconti, P. (2016). *Selecting and evaluating CCVA approaches and methods*. In IUCN (Ed.), IUCN SSC guide lines for assessing species' vulnerability to climate change (pp. 17–32). Cambridge and Gland: IUCN.

- Giovanelli, J. G. R., Siqueira, M. F., Haddad, C. F. B., & Alexandrino, J. (2010). Modeling a spatially restricted distribution in the neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence only methods. *Ecological Modelling*, 221, 215–224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.10.009>
- Grigg, G., & Kirshner, S. (2015). *Biology and evolution of crocodylians*. & London: Comstock Publishing Associates, Cornell University Press.
- Hällfors, M. H., Aikio, S., Fronzek, S., Hellmann, J. J., Rytteri, T., & Heikkinen, R. K. (2016). Assessing the need and potential of assisted migration using species distribution models. *Biological Conservation*, 196, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.01.031>
- 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. [In Persian] <https://doi.org/10.22126/jbat.2022.8120.1025>
- 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, 544–554. <https://doi.org/10.1002/aqc.2473>
- Kafash, A., Kaboli, M., & Köhler, G. (2015). Comparison of future climatic change effects on desert and mountain dwelling reptiles in Iran (*Paralaudakia caucasia* and *Saara loricata*). *Journal of Animal Environment*, 7(3), 103–108. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jne.2017.214248.1232>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., ... & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 1-20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- 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(2), e34. <http://dx.doi.org/10.24072/pcjournal.263>
- Li, Q., Shao, W., Jiang, Y., Yan, C., & Liao, W. (2024). Assessing Reptile Conservation Status under Global Climate Change. *Biology*, 13(6), 436. <https://doi.org/10.3390/biology13060436>
- Merkenschlager, C., Bangelesa, F., Paeth, H., & Hertig, E. (2023). Blessing and curse of BioClim 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>
- Mobaraki, A. (2015). Sustainable management and conservation of the Mugger crocodile (*Crocodylus palustris*) in Iran (Unpublished MSc thesis). International University of Andalusia, Baeza, Spain.
- 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. [In Persian] https://envs.sbu.ac.ir/article_97996.html
- Mobaraki, A., Erfani, M., Abtin, E., Brito, J. C., Wei, C. T., Ziegler, T., & Rödder, D. (2023). Last chance to see? Iran and India as strongholds for the Mugger Crocodile (*Crocodylus palustris*). *Salamandra*, 59(4), 327–335. <https://www.salamandra-journal.com/index.php/contents/2023-vol-59/2133-mobaraki-a-m-erfani-e-abtin-j-c-brito-w-c-tan-t-ziegler/file>
- Newbold, T., Oppenheimer, P., Etard, A., & Williams, J. J. (2020). Tropical and Mediterranean biodiversity is disproportionately sensitive to land-use and climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 4(12), 1630–1638. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01303-0>
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2024). Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Retrieved March 24, 2024, from http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- 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, 678–684. <https://doi.org/10.1002/aqc.1137>

- Shafieezadeh, M., Moradi, H., Fakheran, S., & Pourmanafi, S. (2018). Modeling Focal-Species Habitat Suitability for Biodiversity Conservation Planning in the Southeastern Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7(3), 51-66. [In Persian] <http://doi.org/10.29252/ijae.7.3.51>
- Sinervo, B., Reséndiz, R. A. L., Miles, D. B., Lovich, J. E., Rosen, P. C., Gadsden, H., ... & 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168431>
- Urban, M. C. (2024). Climate change extinctions. *Science*, 386(6726), 1123-1128. <https://doi.org/10.1126/science.adp4461>
- Vaissi, S. (2022). Response of Iranian lizards to future climate change by poleward expansion, southern contraction, and elevation shifts. *Scientific Reports*, 12, 2348. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06330-4>
- Vasconcelos, R. N., Cantillo-Pérez, T., Franca Rocha, W. J., Aguiar, W. M., Mendes, D. T., de Jesus, T. B., ... & Oliveira, R. P. (2024). Advances and Challenges in Species Ecological Niche Modeling: A Mixed Review. *Earth*, 5(4), 963-989. <https://doi.org/10.3390/earth5040050>
- Xiao, Q., Shi, X. D., Shi, L., Yao, Z. Y., Chen, Y. H., Yang, W. Z., ... & 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. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2024.287>
- Xie, Y., Zhu, Q., Bai, H., He, H., & Zhang, Y. (2024). Combining ecosystem service value and landscape ecological risk to subdivide the riparian buffer zone of the Weihe River in Shaanxi. *Ecological Indicators*, 166, 112424. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112424>
- Xu, R., Song, Q., Chen, D., & Guo, X. (2025). Lineage Diversification and Population Dynamics of the Qinghai Toad-Headed Agama (*Phrynocephalus vlangalii*) on the Qinghai-Tibet Plateau, with Particular Attention to the Northern Slope of the Kunlun-Arjin Mountains. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 15(3), 400. <https://doi.org/10.3390/ani15030400>
- Xu, W., & Prescott, C. E. (2024). Can assisted migration mitigate climate change impacts on forests? *Forest Ecology and Management*, 556, 121738. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121738>
- Yousefkhani, S. S. H., Aliabadian, M., Rastegar Pouyani, E., & Darvish, J. (2017). Predicting the impact of climate change on the distribution pattern of *Agamura persica* (Duméril, 1856) (Squamata: Gekkonidae) in Iran. *Belgian Journal of Zoology*, 147(2), 137-142. <https://doi.org/10.26496/bjz.2017.11>