

Modeling habitat suitability and the impacts of climate change on distribution of the Long-legged buzzard (*Buteo rufinus*)

Saeed Mohammadi^{1✉} | Masoud Yousefi^{2ID}

1. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Iran. E-mail: saeed.mohammadi3@gmail.com
2. Faculty of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: yousefi52@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type Research Article	Objective: This study aimed to model habitat suitability for the Long-legged Buzzard (<i>Buteo rufinus</i>) in the desert habitats of Iran, identify key environmental factors affecting its distribution, and predict changes in suitable habitats under climate change through 2100.
Article history Received: 26 March 2026 Revised: 21 May 2026 Accepted: 27 May 2026 Published: 22 June 2026	Methods: Habitat suitability was modeled using 121 species-presence records and 19 environmental variables, including topographic and anthropogenic factors. The MaxEnt algorithm and <i>kuenm</i> package were used for modeling, and model performance was evaluated using the Area Under the Curve (AUC) and True Skill Statistic (TSS). Future habitat suitability was projected using climatic data from the ESM-CMCC general circulation model under the pessimistic SSP5-8.5 scenario for 2100. The overlap between suitable habitats and Iran's protected areas was also assessed.
Keywords Climate change Conservation Global warming Habitat Long-legged Buzzard Raptors	Results: The model showed good predictive performance (AUC = 0.89; TSS = 0.793). The most influential variables were the human footprint index (35.9%), elevation (15.3%), and distance to agricultural lands (12.1%). The area of suitable habitat is projected to decline substantially, from approximately 999,000 km ² under current conditions to 111,000 km ² by 2100. Likewise, the overlap between suitable habitat and protected areas is projected to decrease from 346,000 km ² to 38,000 km ² . Conclusion: Habitat suitability for the Long-legged Buzzard in Iran is strongly affected by anthropogenic pressures and climate change. The projected decline in suitable habitat and its overlap with protected areas highlights the need to revise conservation strategies and adopt biome-based approaches, with particular attention to areas exposed to intensive human activities, especially agricultural landscapes.

Cite this article: Mohammadi, S., & Yousefi, M. (2026). Modeling habitat suitability and the impacts of climate change on distribution of the Long-legged Buzzard buzzard (*Buteo rufinus*). *Ethnobiology and Biodiversity Conservation*, 3(2), 1-15. <https://doi.org/10.22091/ethc.2026.16086.1082>



©The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22091/ethc.2026.16086.1082>

Publisher: University of Qom

مدل سازی مطلوبیت زیستگاه و تأثیر تغییرات اقلیمی بر توزیع سارگپه پابلند (*Buteo rufinus*)

سعید محمدی^۱ | مسعود یوسفی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: saeed.mohammadi3@gmail.com

۲. دانشکده حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: yousefi52@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله پژوهشی	هدف: این پژوهش با هدف مدل سازی مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند (<i>Buteo rufinus</i>) در زیستگاه‌های بیابانی ایران، شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش آن و پیش‌بینی تغییرات زیستگاه‌های مطلوب تحت سناریوهای تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰ انجام شد.
تاریخچه دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۰۶ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۳۱ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۶ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱	مواد و روش‌ها: برای مدل سازی مطلوبیت زیستگاه، از ۱۲۱ نقطه حضور گونه، ۱۹ متغیر محیطی، چهار متغیر توپوگرافی و پنج متغیر انسانی استفاده شد. مدل سازی با الگوریتم مکسنت و بسته آماری kuenm انجام گرفت و عملکرد مدل با شاخص‌های AUC و TSS ارزیابی شد. همچنین، تغییرات زیستگاه مطلوب با استفاده از داده‌های اقلیمی مدل گردش عمومی ESM-CMCC تحت سناریوی بدبینانه SSP5-8.5 برای سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی و میزان همپوشانی زیستگاه مطلوب با شبکه مناطق حفاظت‌شده کشور بررسی شد.
کلیدواژه‌ها پرنده‌گان شکاری تغییرات اقلیمی حفاظت زیستگاه سارگپه پابلند گرمايش جهانی	نتایج: مدل مطلوبیت زیستگاه از عملکرد مناسبی برخوردار بود ($AUC=0.89$; $TSS=0.793$). مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه شامل شاخص رد پای انسانی ($35/9$ درصد)، ارتفاع ($15/3$ درصد) و فاصله از زمین‌های کشاورزی ($12/1$ درصد) بودند. نتایج پیش‌بینی نشان داد که مساحت زیستگاه مطلوب از حدود ۹۹۹ هزار کیلومتر مربع در شرایط کنونی به ۱۱۱ هزار کیلومتر مربع در سال ۲۱۰۰ کاهش می‌یابد. همچنین، همپوشانی زیستگاه مطلوب با مناطق حفاظت‌شده از ۳۴۶ هزار به ۳۸ هزار کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت.
	نتیجه‌گیری: مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند در ایران به شدت تحت تأثیر فشارهای انسانی و تغییرات اقلیمی قرار دارد. کاهش چشمگیر زیستگاه‌های مطلوب و همپوشانی آن‌ها با مناطق حفاظت‌شده، ضرورت بازنگری در راهبردهای حفاظتی و اتخاذ رویکردهای زیست‌بوم‌محور را برجسته می‌کند. بر این اساس، تمرکز برنامه‌های حفاظتی بر مناطق تحت فشار فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه نواحی کشاورزی، پیشنهاد می‌شود.

استناد: محمدی، سعید؛ و یوسفی، مسعود (۱۴۰۵). مدل سازی مطلوبیت زیستگاه و تأثیر تغییرات اقلیمی بر توزیع سارگپه پابلند (*Buteo rufinus*). زیست‌قوم‌شناسی و حفاظت تنوع زیستی، ۳(۲)، ۱۵-۱. <https://doi.org/10.22091/ethc.2026.16086.1082>



مقدمه

پرندگان، به دلیل برخورداری از نقش‌های بوم‌شناختی متعدد، از جمله شکارگری در سطوح بالای هرم غذایی، ایفای نقش به‌عنوان طعمه در سطوح پایین‌تر، گرده‌افشانی، پراکنش بذر، لاشه‌خواری و مهندسی بوم‌سازگان، به‌عنوان شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی سلامت بوم‌سازگان‌ها شناخته می‌شوند و از این‌رو، جایگاه مهمی در مطالعات تنوع زیستی دارند (Burger, 2006; Kadry et al., 2021; Morales et al., 2023). افزون بر این، پرندگان به دلیل حساسیت بالا نسبت به تغییرات محیطی، آلودگی‌ها و تخریب زیستگاه، می‌توانند تغییرات بوم‌شناختی را در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت منعکس کنند؛ به همین دلیل، در پایش بوم‌سازگان‌ها کاربرد گسترده‌ای دارند. از سوی دیگر، تنوع بالای گونه‌ای و زیستگاهی پرندگان سبب شده است که این گروه در طیف وسیعی از زیستگاه‌ها، از مناطق بیابانی و تپه‌های ماسه‌ای گرفته تا جنگل‌ها، علفزارهای کوهستانی، تالاب‌ها و بوم‌سازگان‌های شهری، حضور داشته باشند. این ویژگی، امکان استفاده از پرندگان به‌عنوان شاخص‌های زیستی را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف فراهم می‌کند (Gregory et al., 2003; Fraixedas et al., 2020).

در پنج دهه اخیر، بوم‌سازگان‌های بیابانی، در مقایسه با بسیاری از بوم‌سازگان‌های دیگر، افزایش دما و خشک‌تر شدن شرایط اقلیمی را با شدت بیشتری تجربه کرده‌اند. این روند در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان با افزایش دماهای حدی، کاهش بارش سالانه و افزایش تبخیر - تعرق همراه بوده است و فشار مضاعفی بر گونه‌هایی وارد کرده است که در نزدیکی مرزهای فیزیولوژیک خود زیست می‌کنند (Ikanyan and Beissinger, 2018; Conradie et al., 2019; Ma et al., 2023). در چنین شرایطی، حتی تغییرات جزئی در دما یا دسترسی به منابع آب می‌تواند پیامدهای قابل‌توجهی بر پراکنش، تولیدمثل و بقای گونه‌ها داشته باشد. پیش‌بینی می‌شود این تغییرات تا پایان قرن حاضر نیز با سرعت قابل‌توجهی ادامه یابد (Dominguez et al., 2010). از این‌رو، بوم‌سازگان‌های بیابانی، به دلیل حساسیت بالا به افزایش دما، شاخص‌های مهمی برای آشکارسازی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای محسوب می‌شوند (Zhou et al., 2015).

سارگپه پابلند (*Buteo rufinus*) پرندۀ‌ای شکاری با جثه متوسط از خانواده قوשיان (Accipitridae) است که پراکنش گسترده‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب‌شرقی اروپا، خاورمیانه، آسیای مرکزی، شمال‌غربی چین و شمال آفریقا دارد (Snow and Perrins, 1998; BirdLife International, 2021). بر اساس ارزیابی اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN)، این گونه در رده «کمترین نگرانی (LC)» قرار دارد و روند جمعیت آن پایدار ارزیابی شده است. سارگپه پابلند زیستگاه‌های باز، از جمله استپ‌ها، مناطق نیمه‌بیابانی، دشت‌های صخره‌ای، مناطق کوهستانی تا ارتفاع حدود ۳۵۰۰ متر و حتی حاشیه جنگل‌ها با پوشش گیاهی کم تا متوسط را ترجیح می‌دهد (BirdLife International, 2021). این گونه در ایران بومی و مقیم محسوب می‌شود و در نواحی شمالی، مرکزی و شمال‌شرقی و نیز بخش‌هایی از جنوب‌غربی کشور زادآوری می‌کند (Khaleghizadeh et al., 2005; BirdLife International, 2021). سارگپه پابلند در فهرست پرندگان حمایت‌شده سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران قرار دارد. با وجود پراکنش این گونه در مناطق حفاظت‌شده مهمی مانند پناهگاه حیات‌وحش میاندشت، ذخیره‌گاه زیست‌کره توران و مناطق کوهستانی البرز و زاگرس، برآورد دقیق و به‌روزی از جمعیت ملی آن در ایران وجود ندارد (Hosseini-Zavarei et al., 2008). از مهم‌ترین تهدیدهای این گونه می‌توان به تخریب زیستگاه در پی گسترش کشاورزی، چرای بیش از حد، تبدیل استپ‌ها به اراضی کشاورزی - که می‌تواند به کاهش منابع طعمه منجر شود - خطر برق‌گرفتگی ناشی از برخورد با خطوط انتقال برق و مسمومیت غیرمستقیم در اثر تغذیه از لاشه‌های مسموم اشاره کرد. در مقیاس منطقه‌ای نیز معدن‌کاری و تغییرات کاربری اراضی می‌تواند بر زیستگاه و پراکنش این گونه تأثیرگذار باشند.

مطلوبیت زیستگاه تأثیر چشمگیری بر بقا و تولیدمثل گونه‌ها دارد و مطالعات زیستگاه از ارکان اساسی مدیریت و حفاظت حیات‌وحش به شمار می‌روند. آگاهی از چگونگی و چرایی پراکنش گونه‌ها برای تدوین و اجرای راهبردهای مؤثر حفاظتی ضروری است (Martínez-Núñez et al., 2023). مطالعه بوم‌شناسی و حفاظت از پرندگان بیابانی نیز از اهمیت بنیادینی در زیست‌شناسی حفاظت برخوردار است؛ زیرا بوم‌سازگان‌های بیابانی در برابر تغییرات محیطی به‌شدت آسیب‌پذیرند (Böhning-Gaese and Lemoine, 2004; Riddell et al., 2019; Ma et al., 2023). برنامه‌ریزی مؤثر برای حفاظت از پرندگان بیابانی، به پیش‌بینی دقیق اثرات تغییرات زیستگاهی بر الگوهای پراکنش و فراوانی آن‌ها وابسته است. در این زمینه، مدل‌های مطلوبیت زیستگاه

می‌توانند روابط میان متغیرهای محیطی و انسانی و حضور گونه‌های پرندگان بیابانی را آشکار سازند و مبنایی برای شناسایی مناطق اولویت‌دار حفاظتی فراهم کنند (Rodríguez-Estrella, 2007).

مدل‌های مطلوبیت زیستگاه، ارتباط میان مکان‌های اشغال‌شده توسط یک گونه و ویژگی‌های محیطی این مکان‌ها را مشخص می‌کنند. همچنین، این مدل‌ها سهم متغیرهای محیط‌زیستی در تعیین پراکنش گونه را مشخص کرده و دامنه توزیع جغرافیایی بالقوه آن را پیش‌بینی می‌کنند (Ramezani Moghadam et al., 2021). به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین، نظیر مکسنت (MaxEnt) و جنگل تصادفی (Random Forest)، برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در شرایط کنونی و آینده، با استفاده از داده‌های حضور گونه و عوامل اقلیمی، می‌تواند دقت پیش‌بینی بالایی در ارزیابی زیستگاه پرندگان فراهم کند (Guisan et al., 2017). در سال‌های اخیر، مدل‌های مطلوبیت زیستگاه کاربرد گسترده‌ای در مطالعات بوم‌شناسی و حفاظت از گونه‌ها یافته‌اند (Guisan and Thuiller, 2005; Elith and Leathwick, 2009; Vignali et al., 2021; Yousefi et al., 2023).

تاکنون، پژوهش‌های متعددی با هدف شناسایی زیستگاه‌های مطلوب پرندگان، تعیین عوامل مؤثر بر انتخاب زیستگاه و ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی در مقیاس ملی انجام شده است (Mirzaei et al., 2017; Yousefi et al., 2017; Ashoori et al., 2018; Abdollahi et al., 2024). در پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی مطلوبیت زیستگاه و پیش‌بینی تغییرات احتمالی زیستگاه‌های مطلوب سارگپه پابلند، از الگوریتم بیشینه بی‌نظمی (MaxEnt) استفاده شد.

با وجود اهمیت بوم‌شناختی سارگپه پابلند در بوم‌سازگان‌های بیابانی و نیمه‌بیابانی ایران، تاکنون مطالعه‌ای با رویکرد مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه این گونه در مقیاس ملی انجام نشده است. نوآوری اصلی پژوهش حاضر، به‌کارگیری هم‌زمان مجموعه‌ای جامع از متغیرهای محیطی شامل متغیرهای زیست‌اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عوامل انسانی است که امکان ارزیابی جامع نیازهای محیطی این پرنده شکاری کمترشناخته‌شده را فراهم می‌کند.

هدف این پژوهش، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند در بیوم بیابانی ایران با استفاده از مجموعه‌ای از متغیرهای بوم‌شناختی شامل عوامل زیست‌اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و انسانی، شناسایی مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش این گونه و پیش‌بینی تغییرات زیستگاه مطلوب آن تحت تأثیر تغییرات اقلیمی تا افق سال ۲۱۰۰ است. نتایج این مطالعه می‌تواند مورد استفاده مدیران حیات‌وحش و برنامه‌ریزان حفاظتی قرار گیرد. افزون بر این، شناخت میزان تأثیرپذیری این گونه از تغییرات اقلیمی می‌تواند به درک بهتر چگونگی تأثیر این تغییرات بر سایر گونه‌های هم‌زیست در بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک کمک کند.

مواد و روش‌ها

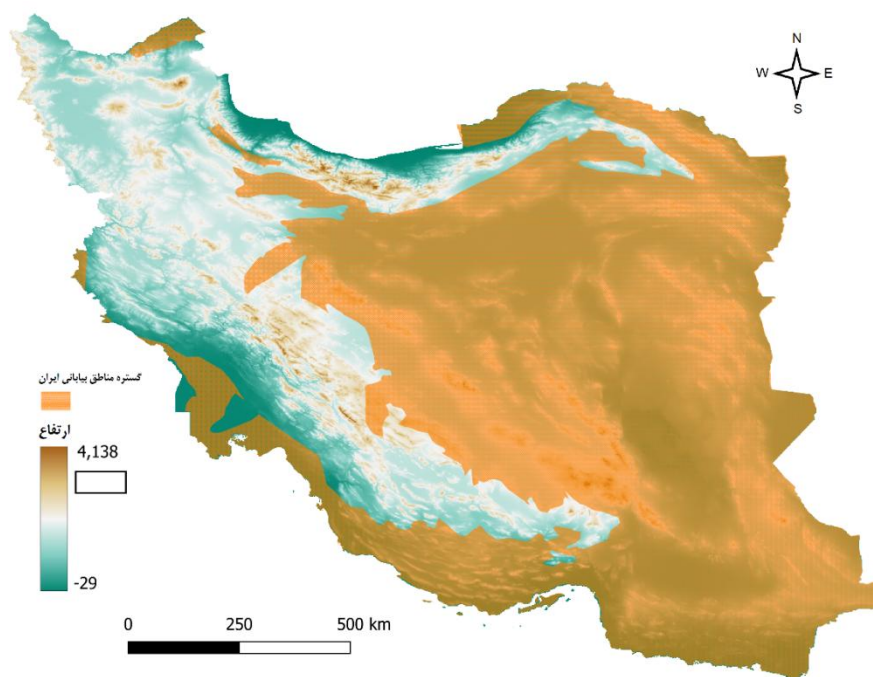
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، بیوم بیابانی ایران در گستره کشور است (شکل ۱). بیوم بیابانی ایران با وسعتی حدود ۳۴ میلیون هکتار، معادل بیش از ۵۰ درصد مساحت کشور، عمدتاً در مناطق مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی ایران قرار دارد. این بیوم تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی خشک، بارش اندک، تبخیر - تعرق بالا و دمای زیاد قرار دارد و از ویژگی‌های اقلیمی منحصربه‌فردی برخوردار است (Yousefi et al., 2023).

زیستگاه‌های بیابانی ایران دارای شرایط اقلیمی ویژه‌ای هستند که با تابستان‌های گرم، زمستان‌های سرد و بارندگی اندک مشخص می‌شوند. میانگین دمای روزانه در تابستان به حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، درحالی‌که دمای شبانه در برخی مناطق به ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. در فصل زمستان نیز میانگین دمای روزانه بین ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است و دمای شبانه در برخی مناطق به زیر صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میزان بارش سالانه معمولاً کمتر از ۷۰ میلی‌متر است و عمدتاً به‌صورت نامنظم در فصل‌های سرد سال رخ می‌دهد (Biabani et al., 2025).

بیابان یکی از زیست‌بوم‌های منحصربه‌فرد ایران به شمار می‌رود که باوجود شرایط سخت محیطی، میزبان تنوع قابل‌توجهی از گونه‌های گیاهی و جانوری سازگار با شرایط خشک و بیابانی است (Kafash et al., 2020; Yousefi et al., 2023).

جمع‌آوری داده‌های حضور



شکل ۱. گستره زیست‌بوم بیابانی در ایران بر اساس نقشه زیست‌بوم‌های خشکی کره زمین (Olson et al., 2001).

داده‌های حضور سارگپه پابلند از دو منبع اصلی گردآوری شد. منبع نخست، پایگاه‌های داده بین‌المللی، از جمله GBIF (Global Biodiversity Information Facility) و eBird بود که رکوردهای تأییدشده حضور این گونه در محدوده ایران را دربرمی‌گرفت. منبع دوم، داده‌های میدانی حاصل از بررسی‌های صحرایی و اطلاعات گردآوری‌شده توسط نویسندگان، کارشناسان و پژوهشگران حیات‌وحش در مناطق مختلف بیوم بیابانی ایران بود.

به‌منظور اطمینان از دقت مکانی رکوردها، تنها نقاط حضور دارای مختصات جغرافیایی دقیق وارد تحلیل شدند. همچنین، برای کاهش خودهمبستگی مکانی و سوگیری ناشی از توزیع ناهمگن نمونه‌برداری، فیلتر مکانی با شعاع پنج کیلومتر اعمال شد. پس از پالایش داده‌ها، در مجموع ۱۲۱ نقطه حضور معتبر برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند مورد استفاده قرار گرفت.

متغیرهای محیطی

برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند، مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی شامل متغیرهای زیست‌اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عوامل انسانی مورد استفاده قرار گرفت. متغیر ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع حاصل از Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) استخراج شد (Jarvis et al., 2008). همچنین، لایه شاخص ردپای انسانی برای تهیه مدل مطلوبیت زیستگاه مورد استفاده قرار گرفت (Venter et al., 2016a, 2016b).

داده‌های اقلیمی ایران برای شرایط کنونی و آینده (سال ۲۱۰۰) از پایگاه داده اقلیمی CHELSA با تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه قوسی (حدود یک کیلومتر) تهیه شد (Karger et al., 2017). سایر متغیرها، شامل فاصله از سکونتگاه‌های انسانی و فاصله از زمین‌های کشاورزی، از لایه کاربری اراضی سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور استخراج شدند. لایه‌های فاصله از سکونتگاه‌های انسانی و زمین‌های کشاورزی در نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از ابزار Euclidean Distance در محیط ArcMap10.5 (Potapov et al., 2022) تولید شدند (جدول ۱).

به‌منظور بررسی و کاهش هم‌خطی میان متغیرهای محیطی، از شاخص تورم واریانس (Variance Inflation Factor; VIF) استفاده شد. متغیرهایی که مقدار VIF آن‌ها کمتر از ۱۰ بود، برای ورود به مدل انتخاب شدند (Guisan et al., 2017). درنهایت، ۱۲ متغیر (که در جدول ۱ به‌صورت پررنگ مشخص شده‌اند) در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

تمامی لایه‌های محیطی از نظر اندازه پیکسل یکسان‌سازی و به تفکیک مکانی یک کیلومتر تبدیل شدند. سپس، لایه‌ها با سیستم

جدول ۱. متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل سازی مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند. متغیرهای دارای VIF کمتر از ۱۰ به صورت پررنگ نمایش داده شده‌اند.

ردیف	متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی و پوشش زمین/کاربری زمین	منبع	سال
۱	میانگین دمای سالیانه (BIO1)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۲	تغییرات دمای ماهانه (BIO2)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۳	هم دمایی (BIO3)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۴	تغییرات فصلی دما (BIO4)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۵	بیشینه دمای گرمترین ماه سال (BIO5)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۶	کمینه دمای سردترین ماه (BIO6)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۷	دامنه دمای سالیانه (BIO7)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۸	دما مرطوب ترین فصل سال (BIO8)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۹	دما خشک ترین فصل سال (BIO9)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۰	دمای گرمترین فصل سال (BIO10)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۱	میانگین دمای سردتری فصل سال (BIO11)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۲	بارش سالانه (BIO12)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۳	بارش مرطوب ترین ماه (BIO13)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۴	بارش خشک ترین ماه سال (BIO14)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۵	تغییرات فصلی بارش (BIO15)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۶	بارش مرطوب ترین فصل سال (BIO16)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۷	بارش خشک ترین فصل سال (BIO17)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۸	بارش در گرم ترین ماه سال (BIO18)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۱۹	بارش سردترین فصل سال (BIO19)	http://chelsa-climate.org	۱۹۸۱-۲۰۱۰-۲۱۰۰
۲۰	ارتفاع	Jarvis et al., (2008)	۲۰۰۸
۲۱	شاخص ردپای انسانی (HFI)	Venter et al., 2016a, 2016b	۲۰۱۶
۲۲	شاخص نرمالایز شده پوشش گیاهی (NDVI)	Copernicus Land Monitoring Service https://land.copernicus.eu/en	۲۰۲۰
۲۳	فاصله تا زمین‌های کشاورزی (متر)	مستخرج از لایه کاربری کشاورزی	۲۰۱۹
۲۴	فاصله تا سکونتگاه‌های انسانی (متر)	مستخرج از لایه مناطق مسکونی	۲۰۲۰

مختصات جغرافیایی 1984 GCS-WGS تهیه و برای اجرای مدل سازی به فرمت Ascii تبدیل شدند. درنهایت، توزیع بالقوه آینده سارگپه پابلند بر اساس داده‌های مدل اقلیمی ESM-CMCC تحت سناریوی بدینانه SSP5-8-5 برای سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی شد.

مدل سازی

مدل مکسنت (MaxEnt) به دلیل توانایی آن در ارائه نتایج قابل اعتماد، یکی از مدل‌های پرکاربرد در مطالعات مطلوبیت زیستگاه به شمار می‌رود (Phillips et al., 2004). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که مدل مکسنت از دقت و توان پیش‌بینی مناسبی در مدل سازی پراکنش و مطلوبیت زیستگاه برخوردار است و در برخی شرایط، حتی با در نظر گرفتن مفروضات و محدودیت‌های مدل سازی، می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به روش‌های اجماعی (Ensemble) داشته باشد (Mohammadi et al., 2019; Bowen and Stevens, 2020; Holder et al., 2020; Ahmadi et al., 2023).

بسته آماری kuenm ابزاری کارآمد برای تنظیم، کالیبراسیون و ارزیابی مدل‌های مکسنت در مطالعات مدل سازی مطلوبیت زیستگاه است. این بسته امکان ایجاد و ارزیابی ترکیب‌های مختلفی از متغیرهای محیطی و تنظیمات مدل را فراهم می‌کند و به پژوهشگر اجازه می‌دهد با مقایسه مدل‌ها بر اساس معیارهای آماری و قدرت پیش‌بینی، مناسب‌ترین پارامترها را برای انتخاب مدل نهایی تعیین کند. همچنین، این ابزار با فراهم کردن فرایندهای نظام‌مند کالیبراسیون، ساخت و ارزیابی مدل، به افزایش قابلیت بازتولید و استحکام مدل‌ها کمک می‌کند (Cobos et al., 2019).

در پژوهش حاضر، مدل سازی مطلوبیت زیستگاه با استفاده از بسته آماری kuenm (Cobos et al., 2019) در محیط نرم‌افزار R

نسخه ۳.۴.۳ (R Core Team, 2017) انجام شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها، از معیار سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (AUC)¹ و آماره مهارت واقعی (TSS) استفاده شد (Swets, 1988).

به‌منظور ارزیابی میزان پوشش زیستگاه‌های با مطلوبیت بالا توسط مناطق حفاظت‌شده کشور، نقشه زیستگاه مطلوب با نقشه مناطق حفاظت‌شده همپوشانی داده شد. سپس، مساحت زیستگاه‌های با مطلوبیت بالا که در محدوده مناطق حفاظت‌شده قرار داشتند، محاسبه شد. این تحلیل با استفاده از نرم‌افزار R و بسته آماری terra انجام گرفت.

نتایج

بر اساس یافته‌ها، مقدار AUC برابر با ۰/۸۹ به دست آمد که نشان‌دهنده عملکرد مطلوب مدل در پیش‌بینی حضور گونه است. همچنین، مقدار TSS برابر با ۰/۷۹۳ برآورد شد که بیانگر قدرت پیش‌بینی مناسب مدل است. چهار عامل شاخص ردپای انسانی (۳۵/۹ درصد)، ارتفاع (۱۵/۳ درصد)، فاصله از زمین‌های کشاورزی (۱۲/۱ درصد) و بارش در گرم‌ترین ماه‌های سال (۸/۷ درصد) در مجموع حدود ۷۰ درصد از اهمیت متغیرهای واردشده به مدل را به خود اختصاص دادند و به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند داشتند (جدول ۲).

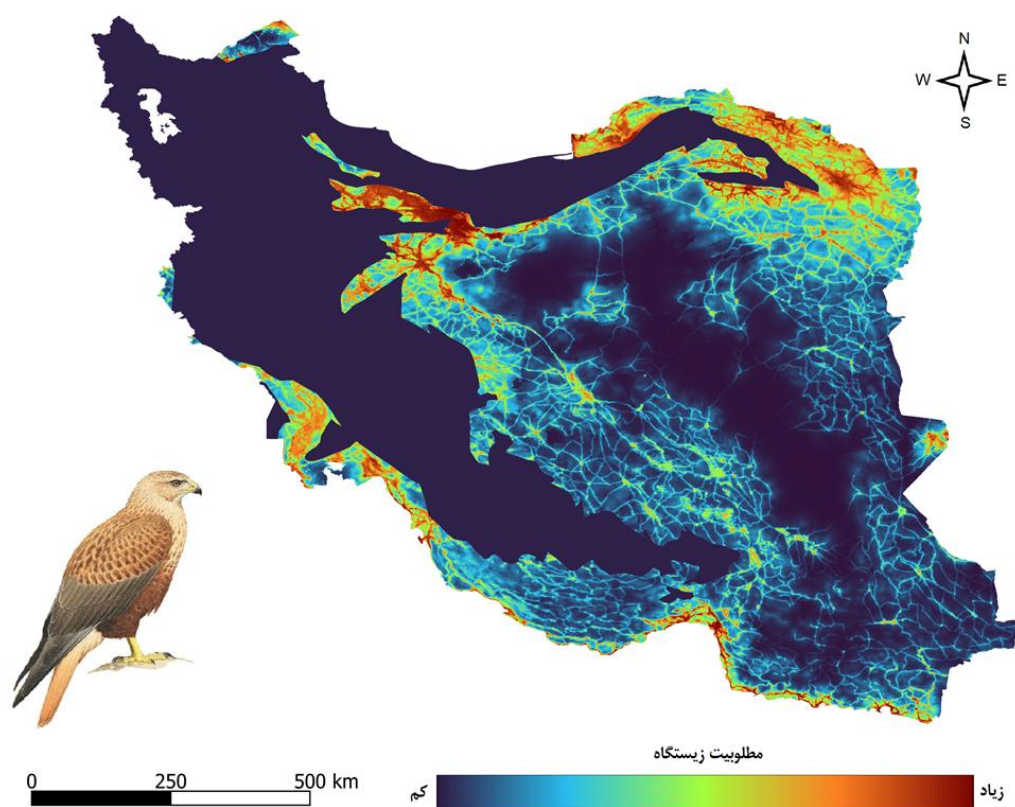
شاخص ردپای انسانی، با دارا بودن بیشترین سهم در مدل، نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه فعالیت‌های انسانی بر مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند است و می‌تواند بیانگر ترجیح این گونه برای استقرار در مناطق طبیعی‌تر و کم‌تراکم، با سطح اختلال انسانی کمتر، باشد. ارتفاع نیز با تأثیرگذاری بر شرایط اقلیمی و ویژگی‌های پوشش گیاهی، در تعیین محدوده‌های مناسب برای فعالیت، تغذیه و لانه‌سازی گونه نقش دارد. همچنین، فاصله از زمین‌های کشاورزی احتمالاً به دلیل دسترسی به منابع غذایی، از جمله جوندگان موجود در حاشیه و پیرامون این اراضی، از عوامل مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند است.

الگوی کنونی توزیع جغرافیایی و گستره زیستگاه مطلوب سارگپه پابلند بر اساس نقشه خروجی مدل نشان داد که مناطق مرکزی ایران، با غلبه استپ‌های خشک و نواحی کویری، بخش قابل‌توجهی از زیستگاه‌های مطلوب و شکارگاه‌های این گونه را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). بر این اساس، در شرایط اقلیمی کنونی، حدود ۹۹۹ هزار کیلومتر مربع از گستره جغرافیایی کشور به‌عنوان زیستگاه مطلوب سارگپه پابلند شناسایی شد.

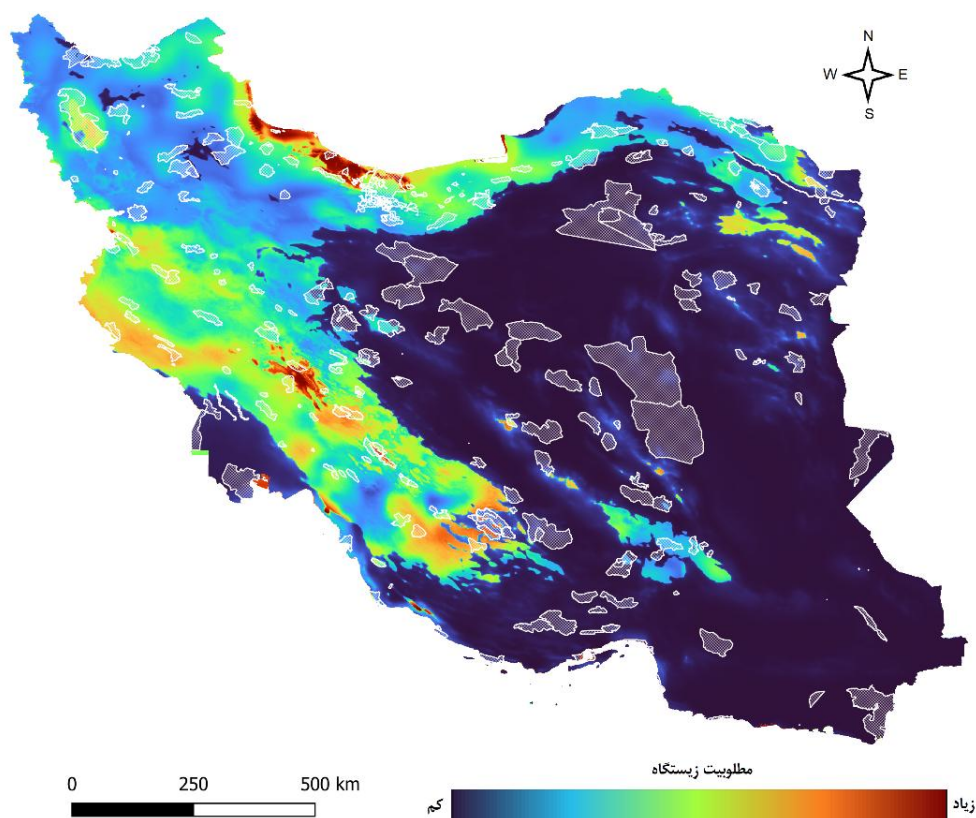
بر اساس نتایج مدل‌سازی، تحت سناریوی تغییر اقلیم مورد بررسی، مساحت زیستگاه مطلوب سارگپه پابلند تا سال ۲۱۰۰ کاهش چشمگیری خواهد داشت و به حدود ۱۱۱ هزار کیلومتر مربع خواهد رسید؛ به‌عبارت دیگر، مساحت زیستگاه مطلوب گونه نسبت به شرایط کنونی حدود ۸۹ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین، نتایج نشان داد که در شرایط کنونی، حدود ۳۴۶ هزار کیلومتر مربع از زیستگاه‌های مطلوب گونه با شبکه مناطق حفاظت‌شده کشور همپوشانی دارد که معادل ۱/۵ درصد از کل مساحت مناطق حفاظت‌شده کشور است. بنابراین، بخش محدودی از زیستگاه‌های مطلوب سارگپه پابلند تحت پوشش شبکه فعلی مناطق حفاظت‌شده قرار دارد (شکل ۳).

پیش‌بینی‌ها نشان داد که بخش قابل‌توجهی از زیستگاه‌های مطلوب کنونی که در محدوده مناطق حفاظت‌شده قرار دارند، در سال ۲۱۰۰ دیگر با این مناطق همپوشانی نخواهند داشت. بر این اساس، مساحت همپوشانی زیستگاه‌های مطلوب گونه با شبکه مناطق حفاظت‌شده در سال ۲۱۰۰ به حدود ۳۸ هزار کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت (شکل ۴). این کاهش چشمگیر نشان می‌دهد که شبکه فعلی مناطق حفاظت‌شده ممکن است در شرایط تغییر اقلیم، پوشش کافی برای حفاظت از زیستگاه‌های مطلوب آینده سارگپه پابلند نداشته باشد و ضرورت بازنگری در اولویت‌های مکانی حفاظت از این گونه را برجسته می‌کند.

¹ . Area Under the Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve



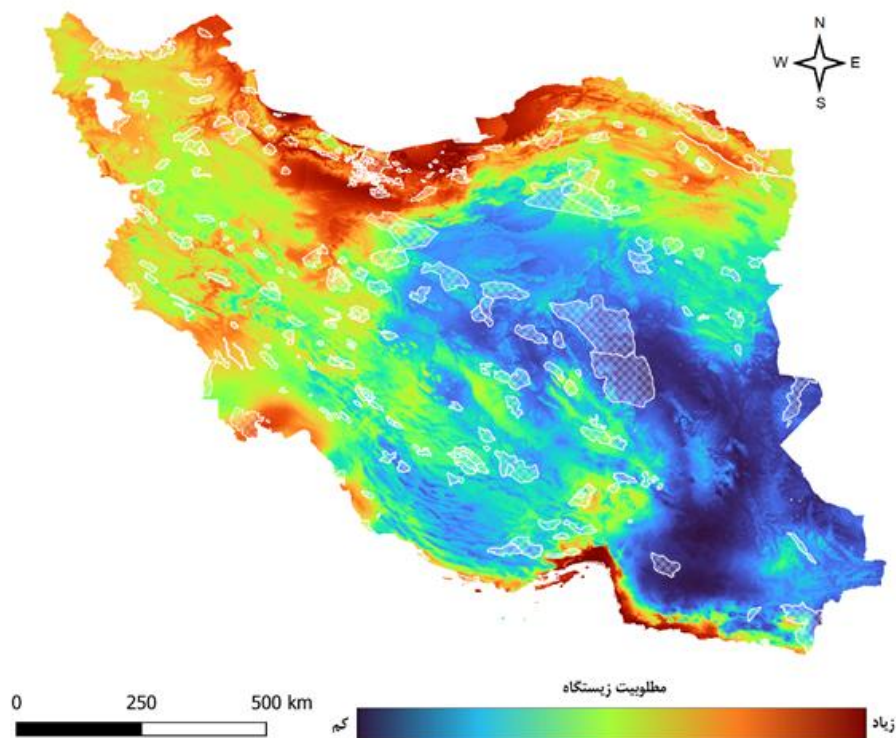
شکل ۲. نقشه مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند (*Buteo rufinus*) در گستره بیوم بیابانی ایران.



شکل ۳. میزان هم پوشانی شبکه مناطق حفاظت شده با زیستگاه های مطلوب سارگپه پابلند (*Buteo rufinus*) در ایران.

جدول ۲. اهمیت نسبی متغیرهای محیطی مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند (*Buteo rufinus*).

۳۵/۹	شاخص ردپای انسانی
۱۵/۳	ارتفاع
۱۲/۱	فاصله تا زمین‌های کشاورزی
۸/۷	بارش در گرم‌ترین ماه سال (BIO18)
۶/۶	تغییرات فصلی دما (BIO4)
۴/۱	بارش در خشک‌ترین ماه سال (BIO14)
۴	دما خشک‌ترین فصل سال (BIO9)
۳/۶	دما مرطوب‌ترین فصل سال (BIO8)
۳/۴	تغییرات دمای ماهانه (BIO2)
۲/۵	تغییرات فصلی بارش (BIO15)
۲/۱	فاصله تا سکونتگاه‌های انسانی
۱/۷	شاخص نرمالایز شده پوشش گیاهی (NDVI)

شکل ۴. نقشه پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند (*Buteo rufinus*) در ایران تحت سناریوی تغییر اقلیم در سال ۲۱۰۰.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند در زیستگاه‌های بیابانی ایران از توان تفکیک و پیش‌بینی بالایی برخوردار است. مقدار AUC برابر با ۰/۸۹ و TSS برابر با ۰/۷۹۳ بیانگر عملکرد مطلوب مدل و توانایی مناسب آن در تفکیک زیستگاه‌های مطلوب از نامطلوب است. این یافته با شواهد روش‌شناختی موجود همخوانی دارد؛ زیرا مدل مکسنت (MaxEnt) به‌ویژه برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها بر اساس داده‌های حضور صرف مناسب است و به دلیل توانایی آن در برآورد

توزیع با بیشینه آنتروپی، حتی در شرایط نبود داده‌های معتبر از عدم حضور، در بسیاری از مطالعات عملکرد مناسبی داشته است (Phillips et al., 2006). باین‌حال، تفسیر نتایج مدل‌های همبستگی باید با توجه به محدودیت‌های ذاتی این رویکرد، از جمله سوگیری مکانی داده‌های حضور، ناهمگنی تلاش نمونه‌برداری، هم‌خطی میان متغیرهای محیطی و عدم قطعیت مرتبط با پیش‌بینی‌های آینده، انجام شود (Guisan and Thuiller, 2005; Elith and Leathwick, 2009).

در این مطالعه، شاخص ردپای انسانی با سهم تقریبی ۳۶ درصد، مهم‌ترین متغیر مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند در گستره مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی ایران شناسایی شد. این یافته نشان می‌دهد که اگرچه سارگپه پابلند گونه‌ای سازگار با چشم‌اندازهای باز، خشک و نیمه‌خشک است، شدت فشارهای انسانی می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر کیفیت زیستگاه آن تأثیر بگذارد. شاخص ردپای انسانی ترکیبی از مؤلفه‌هایی مانند محیط‌های ساخته‌شده، اراضی کشاورزی، تراکم جمعیت، شبکه راه‌ها، زیرساخت‌های حمل‌ونقل و سایر شاخص‌های فشار انسانی است و از این‌رو می‌تواند نماینده‌ای از تغییر کاربری اراضی، تخریب و قطعه‌قطعه‌شدن زیستگاه و افزایش احتمال تعارض انسان و حیات‌وحش باشد (Venter et al., 2016b). اهمیت بالای این شاخص در مدل حاضر از آن جهت قابل‌توجه است که پرندگان شکاری وابسته به زیستگاه‌های باز، علاوه بر نیاز به عرصه‌های وسیع برای جست‌وجوی غذا، نسبت به تغییر ساختار چشم‌انداز، توسعه سکونتگاه‌ها و راه‌ها، کاهش منابع طعمه و افزایش فعالیت‌های انسانی حساس هستند (Friedemann et al., 2011).

باین‌حال، رابطه سارگپه پابلند با فعالیت‌های انسانی الزاماً خطی و کاملاً منفی نیست. در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک، حاشیه اراضی کشاورزی و چشم‌اندازهای نیمه‌طبیعی می‌توانند با افزایش دسترسی به جوندگان، خزندگان و سایر طعمه‌های کوچک، فرصت‌های تغذیه‌ای مناسبی برای این گونه فراهم کنند. سهم تقریبی ۱۲ درصدی متغیر فاصله از زمین‌های کشاورزی در مدل می‌تواند بازتابی از همین رابطه پیچیده و دوگانه باشد. به عبارت دیگر، اراضی کشاورزی در صورتی که در مجاورت لکه‌های طبیعی، مراتع باز، شیب‌های سنگی و سایر عناصر طبیعی چشم‌انداز قرار داشته باشند، ممکن است به‌عنوان زیستگاه تغذیه‌ای مکمل عمل کنند؛ اما تشدید فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از سموم، حذف عناصر طبیعی چشم‌انداز و افزایش مزاحمت انسانی می‌تواند کیفیت این زیستگاه‌ها را کاهش دهد.

مطالعه انجام‌شده بر روی سارگپه پابلند در قبرس نیز نشان داده است که قلمروهای این گونه می‌توانند ترکیبی از مناطق طبیعی و چشم‌اندازهای کشاورزی باشند و این گونه در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در زیستگاه‌های باز، فعالیت تغذیه‌ای بیشتری دارد (Iezekiel et al., 2016). بنابراین، نتایج مطالعه حاضر نیز بر اهمیت ساختار و کیفیت چشم‌انداز پیرامون اراضی کشاورزی، نه صرفاً وجود یا نبود این اراضی، در تعیین مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند تأکید دارد.

یافته‌های پژوهش حاضر درباره اهمیت شاخص ردپای انسانی، ارتفاع و فاصله از زمین‌های کشاورزی، با نتایج مطالعات مشابه درباره سایر گونه‌های پرندگان همخوانی قابل‌توجهی دارد. برای مثال، در مطالعات انجام‌شده درباره گونه‌هایی همچون هوبره، زنگوله‌بال و جغد کوچک، نشان داده شده است که متغیرهای توپوگرافی و فاصله از زمین‌های کشاورزی نقش مهمی در تعیین مطلوبیت زیستگاه دارند (Yousefi et al., 2017; Sheykhi Ilanloo et al., 2020; Abdollahi et al., 2024). در مطالعه مطلوبیت زیستگاه کبک دری (*Alectoris chukar*) نیز ارتفاع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای تعیین‌کننده پراکنش شناسایی شد (Hoseinnejad et al., 2019). این نتیجه با سهم ۱۵ درصدی ارتفاع در مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند در پژوهش حاضر همخوانی دارد و نشان می‌دهد که گرادیان ارتفاعی در بیوم بیابانی ایران می‌تواند از عوامل مهم ساختاردهنده پراکنش پرندگان باشد.

مهم‌تر آنکه در مطالعه Abdollahi و همکاران (2024) درباره پرندگان شکاری در همدان، نزدیکی به اراضی کشاورزی به‌عنوان یکی از عوامل مهم در انتخاب زیستگاه این گروه از پرندگان معرفی شد؛ زیرا این اراضی می‌توانند منابع غذایی مناسبی، به‌ویژه جوندگان و پرندگان کوچک، فراهم کنند. این یافته با سهم ۱۲ درصدی متغیر فاصله از زمین‌های کشاورزی در مدل سارگپه پابلند در مطالعه حاضر مطابقت دارد، هرچند رابطه این گونه با اراضی کشاورزی می‌تواند دوگانه باشد و به شدت و نوع فعالیت‌های کشاورزی وابسته است. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که پرندگان شکاری ساکن زیستگاه‌های باز در ایران، باوجود تفاوت‌های گونه‌ای، ممکن است الگوهای مشترکی در پاسخ به متغیرهای انسانی، توپوگرافی و دسترسی به منابع غذایی داشته باشند.

ارتفاع با سهم ۱۵ درصدی، دومین متغیر مهم مدل بود. اهمیت ارتفاع در مطلوبیت زیستگاه را می‌توان به چند سازوکار بوم‌شناختی مرتبط دانست. نخست، ارتفاع بر دما، بارش، پوشش گیاهی و پراکنش طعمه تأثیر می‌گذارد و بنابراین می‌تواند به صورت غیرمستقیم ساختار زیستگاه تغذیه‌ای گونه را تعیین کند. دوم، تغییرات ارتفاعی در مناطق خشک ایران معمولاً با وجود رخنمون‌های سنگی، دره‌ها، دامنه‌ها و پرتگاه‌ها همراه است که می‌توانند برای آشیانه‌سازی پرندگان شکاری اهمیت داشته باشند. سوم، مناطق با ارتفاع متوسط تا زیاد در برخی نواحی ممکن است از شدت توسعه انسانی و کشاورزی فشرده دورتر باشند و در نتیجه، پناهگاه‌های نسبی برای گونه فراهم کنند. این تفسیر با مطالعاتی همسو است که نشان داده‌اند سارگپه پابلند عمدتاً در زیستگاه‌های باز، استپی، نیمه‌بیابانی، سنگلاخی و دامنه‌ای حضور دارد و تغییر پوشش و کاربری زمین می‌تواند بر مکان‌یابی آشیانه و موفقیت تولیدمثلی آن اثر بگذارد (Friedemann et al., 2011; Iezekiel et al., 2016). دسترسی به جوندگان و سایر طعمه‌های بالقوه نیز می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در مطلوبیت این نواحی برای سارگپه پابلند باشد.

شمال‌شرق و شرق ایران دارای پهنه‌های وسیع استپی و کوهپایه‌ای هستند که از نظر شرایط اقلیمی و توپوگرافی می‌توانند برای لانه‌سازی در رخنمون‌های سنگی یا درختان بلند و نیز شکار در دشت‌های باز مناسب باشند. در جنوب‌غربی ایران، به‌ویژه خوزستان و مناطق پیرامون آن، ترکیب اراضی کشاورزی گسترده، دشت‌های باز و شبکه رودخانه‌ها می‌تواند منابع غذایی و فرصت‌های تغذیه‌ای متنوعی را برای این گونه فراهم کند.

نقش متغیر اقلیمی بارش گرم‌ترین فصل سال (BIO18) با سهم ۷/۸ درصد نیز از نظر بوم‌شناختی قابل توجه است. در زیستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک، بارش فصل گرم می‌تواند بر تولید اولیه، فراوانی پوشش علفی، فعالیت جوندگان و در نهایت دسترسی به طعمه تأثیر بگذارد. از آنجا که سارگپه پابلند عمدتاً از پستانداران کوچک، پرندگان، خزندگان و گاه بی‌مهرگان تغذیه می‌کند، تغییر در رطوبت فصلی و تولید زیستی می‌تواند ظرفیت زیستگاه را برای پشتیبانی از جمعیت‌های طعمه و در پی آن جمعیت شکارگر تحت تأثیر قرار دهد (Friedemann et al., 2011; Iezekiel et al., 2016).

الگوی مکانی زیستگاه مطلوب کنونی که عمدتاً در بخش‌هایی از مناطق مرکزی، شمال‌شرق، شرق و جنوب‌غرب ایران پیش‌بینی شده است، با شناخت بوم‌شناختی از سارگپه پابلند همخوانی دارد. این گونه عموماً با چشم‌اندازهای باز، استپی، نیمه‌بیابانی، سنگلاخی و کم‌درخت ارتباط دارد و برای جست‌وجوی غذا به دید باز و دسترسی مناسب به طعمه نیازمند است (Iezekiel et al., 2016). بنابراین، تمرکز زیستگاه مطلوب در دشت‌ها، حاشیه کوهپایه‌ها، مناطق نیمه‌خشک و عرصه‌های کم‌تراکم از نظر پوشش گیاهی، از نظر بوم‌شناختی قابل توجه است. در مقابل، افزایش پوشش متراکم، جنگل‌کاری‌های گسترده، توسعه سکونتگاه‌ها و تغییر کاربری اراضی می‌تواند قابلیت شکارگری و دسترسی به طعمه را کاهش دهد. مطالعه Friedemann و همکاران (2011) درباره سارگپه پابلند در اسرائیل نشان داد که افزایش پوشش زمین و جنگل‌کاری می‌تواند زیستگاه‌های باز مورد نیاز برای جست‌وجوی غذا را محدود کند و حتی با تغییر الگوی آشیانه‌سازی، استفاده از درختان را در برخی مناطق افزایش دهد.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، پیش‌بینی کاهش شدید زیستگاه مطلوب تا افق ۲۱۰۰ است. بر اساس نتایج، مساحت زیستگاه مطلوب از حدود ۹۹۹ هزار کیلومتر مربع در شرایط کنونی به حدود ۱۱۱ هزار کیلومتر مربع در سناریوی آینده کاهش می‌یابد که با کاهش حدود ۸۹ درصدی همراه است. این کاهش را می‌توان به عنوان نشانه‌ای از کاهش یا جابه‌جایی آشیان اقلیمی مناسب گونه تفسیر کرد. تغییر اقلیم از طریق افزایش دما، تغییر رژیم بارش، افزایش خشکسالی، دگرگونی پوشش گیاهی و تغییر در پراکنش طعمه‌ها می‌تواند موجب کاهش مطلوبیت زیستگاه گونه‌های وابسته به زیستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک شود (Guisan and Thuiller, 2005; Yousefi et al., 2023).

با این حال، پیش‌بینی توزیع آینده در مدل‌های مطلوبیت زیستگاه همواره با عدم قطعیت همراه است. بنابراین، کاهش پیش‌بینی شده باید در چارچوب عدم قطعیت مدل و سناریوی اقلیمی مورد استفاده تفسیر شود (Hoffmann et al., 2020). با وجود این، هنگامی که کاهش زیستگاه در مقیاس گسترده و با ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه سازگار مشاهده شود، می‌تواند هشدار مهمی برای برنامه‌ریزی حفاظتی تلقی شود.

کاهش همپوشانی زیستگاه مطلوب با شبکه مناطق حفاظت‌شده نیز از منظر حفاظت اهمیت زیادی دارد. در شرایط کنونی، حدود ۳۴۶ هزار کیلومتر مربع از زیستگاه مطلوب با مناطق حفاظت‌شده همپوشانی دارد، درحالی‌که این مقدار در افق ۲۱۰۰ به حدود ۳۸

هزار کیلومترمربع کاهش خواهد یافت. چنین الگویی نشان می‌دهد که مناطق حفاظت‌شده موجود، در صورت ثابت ماندن مرزها و نبود اقدامات برای حفظ یا ارتقای پیوستگی بوم‌شناختی، ممکن است در آینده بخش قابل‌توجهی از زیستگاه اقلیمی مناسب این گونه را پوشش ندهند. این وضعیت با یافته‌های مطالعات جهانی همسو است که نشان می‌دهند تغییر اقلیم می‌تواند شرایط مناسب زیستگاهی را از داخل مناطق حفاظت‌شده به خارج از آن‌ها منتقل کند و گونه‌ها را برای دنبال کردن شرایط اقلیمی مناسب، به جابه‌جایی در چشم‌اندازهای انسانی وادار سازد (Parks et al., 2023).

سارگپه پابلند به زیستگاه‌های باز، پیوسته و کم‌اختلال نیاز دارد؛ از این رو، حفاظت مؤثر از آن مستلزم رویکردی چشم‌اندازمحور است که مناطق حفاظت‌شده، حاشیه اراضی کشاورزی کم‌نهاد، مراتع طبیعی، کوهپایه‌ها، کریدورهای باز و زیستگاه‌های بالقوه آینده را در قالب یک شبکه عملکردی در نظر گیرد. برنامه‌ریزی حفاظتی باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر زیستگاه‌های مطلوب کنونی، مناطق دارای پایداری اقلیمی نسبی و مسیرهای بالقوه جابه‌جایی آینده نیز شناسایی و اولویت‌بندی شوند. در این راستا، مدل‌های مطلوبیت زیستگاه زمانی بیشترین ارزش مدیریتی را دارند که با داده‌های میدانی، پایش جمعیت، اطلاعات مربوط به طعمه، نقشه‌های کاربری اراضی، داده‌های تهدید و ارزیابی پیوستگی زیستگاهی تلفیق شوند.

از منظر عملکردی، نقش سارگپه پابلند به عنوان یک پرند شکاری در کنترل جمعیت جوندگان در بوم‌سازگان‌های بیابانی و نیمه‌بیابانی کشور حائز اهمیت است. بنابراین، تغییر در پراکنش و فراوانی این گونه در نتیجه تغییرات اقلیمی می‌تواند از طریق تغییر در جمعیت طعمه‌ها، بر ساختار و کارکرد بوم‌سازگان‌های بیابانی و نیمه‌بیابانی نیز اثر بگذارد. از این رو، پایش منظم جمعیت‌های سارگپه پابلند در شرایط تغییر اقلیم باید به عنوان یکی از اولویت‌های مدیریت تنوع زیستی کشور مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که مطلوبیت زیستگاه سارگپه پابلند در زیستگاه‌های بیابانی ایران به‌طور معناداری تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل انسانی، توپوگرافی، نزدیکی به اراضی کشاورزی و متغیرهای اقلیمی قرار دارد. اهمیت بالای شاخص ردپای انسانی، ارتفاع، بارش فصلی و فاصله از اراضی کشاورزی نشان می‌دهد که مطلوبیت زیستگاه این گونه حاصل برهم‌کنش میان شرایط اقلیمی، ساختار چشم‌انداز، دسترسی به منابع غذایی و شدت فعالیت‌های انسانی است.

پیش‌بینی‌ها حاکی از کاهش چشمگیر زیستگاه مطلوب گونه تا سال ۲۱۰۰ است. بر اساس نتایج مدل، مساحت زیستگاه مطلوب از حدود ۹۹۹ هزار کیلومترمربع در شرایط کنونی به حدود ۱۱۱ هزار کیلومترمربع در سناریوی آینده کاهش می‌یابد که بیانگر کاهش حدود ۷۵ درصدی است. همچنین، کاهش شدید همپوشانی زیستگاه مطلوب با مناطق حفاظت‌شده نشان می‌دهد که شبکه حفاظتی موجود ممکن است در آینده پوشش کافی برای زیستگاه‌های مناسب اقلیمی این گونه نداشته باشد. بنابراین، حفاظت مؤثر از سارگپه پابلند نیازمند بازنگری در اولویت‌های حفاظتی، شناسایی پناهگاه‌های اقلیمی، تقویت پیوستگی میان زیستگاه‌های باز، مدیریت هدفمند حاشیه اراضی کشاورزی و کاهش فشارهای انسانی در مناطق کلیدی است.

بر پایه نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود برنامه‌های حفاظتی آینده بر پایش میدانی و بلندمدت جمعیت، موفقیت تولیدمثلی و الگوی استفاده از زیستگاه در مناطق مطلوب فعلی متمرکز شوند. همچنین، مدیریت چشم‌اندازهای باز از طریق جلوگیری از تبدیل زیستگاه‌های استپی و نیمه‌بیابانی، کنترل جنگل‌کاری‌های نامتناسب در عرصه‌های باز، کاهش اختلالات ناشی از توسعه راه‌ها و سکونتگاه‌ها و سازگار کردن شبکه مناطق حفاظت‌شده با پیامدهای تغییر اقلیم، ضروری است. در این راستا، طراحی کریدورهای زیستگاهی، حفاظت از مناطق خارج از شبکه رسمی که در آینده همچنان از مطلوبیت زیستگاهی برخوردار خواهند بود و ادغام پیش‌بینی‌های اقلیمی در تصمیم‌گیری‌های حفاظت سرزمین می‌تواند به حفظ زیستگاه و کارکردهای بوم‌شناختی پرندگان شکاری به‌عنوان شکارگران رأس هرم غذایی و شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک ایران کمک کند.

تشکر و قدردانی

از بنیاد ملی علم ایران به دلیل حمایت مالی از اجرای پژوهش حاضر در قالب طرح پژوهشی شماره ۴۰۴۰۴۲۶ صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Abdollahi, S., Zeilabi, E., & Xu, C. Y. (2024). Habitat quality assessment based on local expert knowledge and landscape patterns for bird of prey species in Hamadan, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 10, 2051–2061.
- Ahmadi, M., Hemami, M.-R., Kaboli, M., & Shabani, F. (2023). MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed: Model parameterization of four species distribution models. *Ecology and Evolution*, 13, e9827.
- Ashoori, A., Kafash, A., & Varasteh Moradi, H. (2018). Habitat modeling of the common pheasant *Phasianus colchicus* (Galliformes: Phasianidae) in a highly modified landscape: Application of species distribution models in the study of a poorly documented bird in Iran. *The European Zoological Journal*, 85, 372–380.
- Biabani, A., Mohammadi, S., & Shahriari Moghadam, M. (2025). Habitat change assessment of *Chlamydotis macqueenii* in South Khorasan using remote sensing. *Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 5(14), 62–76.
- BirdLife International. (2021). *Species factsheet: Long-legged buzzard (Buteo rufinus)*. <https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/long-legged-buzzard-buteo-rufinus>
- Bowen, A. K. M., & Stevens, M. H. H. (2020). Temperature, topography, soil characteristics, and NDVI drive habitat preferences of a shade-tolerant invasive grass. *Ecology and Evolution*, 10, 10785–10797.
- Burger, J. (2006). Bioindicators: Types, development, and use in ecological assessment and research. *Environmental Bioindicators*, 1, 22–39.
- Cobos, M. E., Townsend Peterson, A., Barve, N., & Osorio-Olvera, L. (2019). *kuenm: An R package for detailed development of ecological niche models using Maxent*. *PeerJ*, 7, e7271. <https://doi.org/10.7717/peerj.7271>
- Conradie, S. R., Woodborne, S. M., Cunningham, S. J., & McKechnie, A. E. (2019). Chronic, sublethal effects of high temperatures will cause severe declines in southern African arid-zone birds during the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 14065–14070.
- Dominguez, F., Cañon, J., & Valdes, J. (2010). IPCC-AR4 climate simulations for the southwestern US: The importance of future ENSO projections. *Climatic Change*, 99, 499–514.
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697.
- Fraixedas, S., Lindén, A., Piha, M., Cabeza, M., Gregory, R., & Lehtikoinen, A. (2020). A state-of-the-art review on birds as indicators of biodiversity: Advances, challenges, and future directions. *Ecological Indicators*, 118, 106728.
- Friedemann, G., Yom-Tov, Y., Motro, U., & Leshem, Y. (2011). Shift in nesting ground of the long-legged buzzard (*Buteo rufinus*) in Judea, Israel: An effect of habitat change. *Biological Conservation*, 144(1), 402–406.
- Gregory, R. D., Noble, D., Field, R., Marchant, J., Raven, M., & Gibbons, D. W. (2003). Using birds as indicators of biodiversity. *Ornis Hungarica*, 12–13, 11–24.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993–1009.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models: With applications in R*. Cambridge University Press.
- Hoffmann, D., de Vasconcelos, M. F., & Fernandes, G. Wilson. (2020). The fate of endemic birds of eastern Brazilian mountaintops in the face of climate change. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 18, 257–266.
- Holder, A. M., Markarian, A., Doyle, J. M., & Olson, J. R. (2020). Predicting geographic distributions of fishes in remote stream networks using maximum entropy modeling and landscape characterizations. *Ecological Modelling*, 433, 109231.
- Hoseinnejad, Z., Sheykhi, A., Goshtasb, H., Nezami, B., & Jahani, A. (2019). Habitat evaluation of *Alectoris chukar* using ecological niche factor analysis (ENFA): Case study of Eshkevarte non-hunting area. *Environmental and Development Journal*, 10, 179–186.

- Hosseini-Zavarei, F., Farhadinia, M. S., & Absalan, H. (2008). Habitat use of long-legged buzzard *Buteo rufinus* in Miandasht Wildlife Refuge, northeastern Iran. *Podoces*, 3, 67–72.
- Iezekiel, S., Yosef, R., Bakaloudis, D. E., Vlachos, C., Papakosta, M., & Tryjanowski, P. (2016). Breeding ecology of the long-legged buzzard (*Buteo rufinus*) in an increasing population on Cyprus. *Journal of Arid Environments*, 135, 12–16.
- Iknayan, K. J., & Beissinger, S. R. (2018). Collapse of a desert bird community over the past century driven by climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115, 8597–8602.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). *Hole-filled SRTM for the globe version 4*. CGIAR-CSI SRTM 90m Database. <https://srtm.csi.cgiar.org>
- Kadry, M., Arcilla, N., Goded, S., & Soutan, A. (2021). Estimating bird densities in montane desert: A methodological comparison in South Sinai, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 189, 104477.
- Kafash, A., Ashrafi, S., Yousefi, M., Rastegar-Pouyani, E., Rajabizadeh, M., Ahmadzadeh, F., Grünig, M., & Pellissier, L. (2020). Reptile species richness associated to ecological and historical variables in Iran. *Scientific Reports*, 10, 18167.
- 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, 170122.
- Khaleghizadeh, A., Sehhati-Sabet, M. E., Javidkar, M., & Adjami, A. (2005). On the diet of the long-legged buzzard, *Buteo rufinus*, in the Turan Biosphere Reserve, Semnan, Iran. *Zoology in the Middle East*, 35(1), 104–105.
- Ma, L., Conradie, S. R., Crawford, C. L., Gardner, A. S., Kearney, M. R., Maclean, I. M. D., McKechnie, A. E., Mi, C.-R., Senior, R. A., & Wilcove, D. S. (2023). Global patterns of climate change impacts on desert bird communities. *Nature Communications*, 14(1), 1–10.
- Martínez-Núñez, C., Martínez-Prentice, R., & García-Navas, V. (2023). Protected area coverage of vulnerable regions to conserve functional diversity of birds. *Conservation Biology*, 37, e14131.
- Mirzaei, R., Hemami, M. R., Esmaili Sari, A., Rezaei, H. R., & Peterson, A. T. (2017). Using ecological niche modeling to determine avian richness hotspots. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3, 131–142.
- Mohammadi, S., Ebrahimi, E., Shahriari Moghadam, M., & Bosso, L. (2019). Modelling current and future potential distributions of two desert jerboas under climate change in Iran. *Ecological Informatics*, 52, 7–13.
- Morales, M. B., Merencio, Á., & de la Morena, ELG. (2023). Evaluation of a potential umbrella species using favourability models: the case of the endangered little bustard (*Tetrax tetrax*) and steppe birds. *Biodiversity Conservation*, 32(10), 3307–3327.
- Parks, S. A., Holsinger, L. M., Abatzoglou, J. T., Littlefield, C. E., & Zeller, K. A. (2023). Protected areas not likely to serve as steppingstones for species undergoing climate-induced range shifts. *Global Change Biology*, 29, 2681–2696.
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2004, July). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the 21st international Conference on Machine Learning* (p. 83).
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259.
- Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M. C., Tyukavina, A., Zalles, V., Khan, A., Song, X.-P., Pickens, A., Shen, Q., & Cortez, J. (2022). Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century. *Nature Food*, 3(1), 19–28.
- Ramezani Moghadam, Z., Farashi, A., & Rashki, [initial unavailable]. (2021). Development of a framework to predict the effects of climate change on birds. *Ecological Complexity*, 47, 100952.
- Rodríguez-Estrella, R. (2007). Land use changes affect distributional patterns of desert birds in the Baja California peninsula, Mexico. *Diversity and Distributions*, 13, 877–889.
- Sheykhi Ilanloo, S., Ebrahimi, E., Valizadegan, N., Ashrafi, S., Rezaei, H. R., & Yousefi, M. (2020). Little owl (*Athene noctua*) around human settlements and agricultural lands: Conservation and management enlightenments. *Acta Ecologica Sinica*, 40(5), 347–352.
- Snow, D. W., & Perrins, C. M. (1998). *The birds of the Western Palearctic* (Vol. 1). Oxford University Press.

- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293. <https://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., Possingham, H. P., Laurance, W. F., Wood, P., Fekete, B. M., Levy, M. A., & Watson, J. E. M. (2016a). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*, 7, 12558.
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., Possingham, H. P., Laurance, W. F., Wood, P., Fekete, B. M., Levy, M. A., & Watson, J. E. M. (2016b). Global terrestrial human footprint maps for 1993 and 2009. *Scientific Data*, 3, 160067.
- Vignali, S., Lörcher, F., Hegglin, D., Arlettaz, R., & Braunisch, V. (2021). Modelling the habitat selection of the bearded vulture to predict areas of potential conflict with wind energy development in the Swiss Alps. *Global Ecology and Conservation*, 25, e01405.
- Yousefi, M., Ahmadi, M., Nourani, E., Rezaei, A. L. I., Kafash, A., Khani, A. L. I., Sehhati-Sabet, M. E., Adibi, M. A., Goudarzi, F., & Kaboli, M. (2017). Habitat suitability and impacts of climate change on the distribution of wintering population of Asian houbara bustard *Chlamydotis macqueenii* in Iran. *Bird Conservation International*, 27, 294–304.
- Yousefi, M., Mohammadi, S., & Kafash, A. (2023). Modeling global habitat suitability and environmental predictor of distribution of a near threatened avian scavenger at a high spatial resolution. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1112962.
- Zhou, L., Chen, H., & Dai, Y. (2015). Stronger warming amplification over drier ecoregions observed since 1979. *Environmental Research Letters*, 10, 064012.