

ORIGINAL ARTICLE

Modeling habitat suitability of the Slender Skimmer (*Orthetrum sabina*) in Iran based on freshwater ecoregions

Masoud Yousefi* 

Faculty of Governance, University of
Tehran, Tehran, Iran.

Correspondence

Masoud Yousefi

Email: yousefi52@ut.ac.ir

How to cite

Yousefi, M. (2025). Modeling habitat suitability of the Slender Skimmer (*Orthetrum sabina*) in Iran based on freshwater ecoregions. *Experimental Animal Biology*, 14(54), 55-63.

ABSTRACT

Iran has a considerable insect biodiversity. Among them, dragonflies (Order Odonata), with more than 100 species, are one of the least-studied animal groups in the country, and their populations are declining due to environmental pollution, climate change, land-use changes, and habitat destruction. Therefore, understanding their distribution patterns and habitat suitability can be an effective step in identifying priority areas for their conservation. In the present study, the habitat suitability of the narrow-winged dragonfly (*Orthetrum sabina*) in Iran was modeled, and the most important factors affecting its distribution were identified. Additionally, the area of suitable habitats for the species in freshwater ecoregions was determined. Based on the habitat suitability model, the northern strip of the Alborz Mountains and southwestern Iran have the largest extent of suitable habitats for the species. Central and eastern regions of the country have the lowest habitat suitability at the national scale. Elevation, normalized vegetation index, human footprint index, and precipitation during the hottest season of the year were identified as the most influential environmental factors on the species' habitat suitability. The Upper Tigris & Euphrates and Kura–South Caspian Drainages ecoregions, with 17,034 km² and 16,423 km² of suitable habitat respectively, contain the largest areas of suitable habitats for the species, indicating high conservation priority.

KEYWORDS

Habitat suitability, conservation, freshwater, modeling, Maxent.

نشریه علمی

زیست‌شناسی جانوری تجربی

«مقاله پژوهشی»

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه سنجاقک باریک‌بال سببنا (*Orthetrum sabina*) در ایران براساس اکوریژن‌های آب‌شیرین

مسعود یوسفی*

دانشکده حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

کشور ایران دارای تنوع زیستی قابل‌توجهی از حشرات است. در این میان سنجاقک‌ها (راسته Odonata) با بیش از ۱۰۰ گونه از ناشناخته‌ترین گروه‌های جانوری در ایران هستند که جمعیت‌های آن‌ها به دلایلی چون آلودگی‌های محیط زیست، تغییرات اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی و تخریب زیستگاه در حال کاهش است. بنابراین شناخت الگوی توزیع و مطلوبیت زیستگاه آن‌ها می‌تواند گامی مؤثر برای شناخت مناطق با اولویت برای حفاظت آن‌ها باشد. در مطالعه حاضر مطلوبیت زیستگاه گونه سنجاقک باریک‌بال سببنا (*Orthetrum sabina*) در ایران مدل‌سازی شد و مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر توزیع آن شناسایی شد. همچنین مساحت زیستگاه‌های مطلوب گونه در اکوریژن‌های آب شیرین محاسبه گردید. براساس مدل مطلوبیت زیستگاهی گونه نوار شمالی رشته کوه البرز و همچنین جنوب‌غرب ایران بیش‌ترین گستره زیستگاه‌های مطلوب گونه را دارا هستند. مناطق مرکزی کشور و همچنین مناطق شرقی کم‌ترین میزان مطلوبیت زیستگاهی را در سطح کل کشور برای گونه دارا هستند. ارتفاع، شاخص نرمالایز شده پوشش گیاهی، شاخص ردپای انسانی و بارش در گرم‌ترین فصل سال مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر مطلوبیت زیستگاهی گونه هستند. اکوریژن‌های Upper Tigris & Euphrates با ۱۷۰۳۴ کیلومترمربع و Kura-South Caspian Drainages با ۱۶۴۲۳ کیلومترمربع بیش‌ترین وسعت زیستگاه‌های مطلوب گونه را در خود جای داده‌اند. بنابراین اولویت بالایی برای حفاظت گونه دارند.

واژه‌های کلیدی

مطلوبیت زیستگاه، حفاظت، آب شیرین، مدل‌سازی، مکسنت.

نویسنده مسئول:

مسعود یوسفی

رایانامه: yousefi52@ut.ac.ir

استاد به این مقاله:

یوسفی، مسعود (۱۴۰۴). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه سنجاقک باریک‌بال سببنا (*Orthetrum sabina*) در ایران براساس اکوریژن‌های آب‌شیرین. فصلنامه زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۱۴(۵۴)، ۶۳-۵۵.

مقدمه

سنجاقک‌ها که به راسته Odonata تعلق دارند، گروهی از حشرات هستند که به‌عنوان شاخص‌های زیستی شناخته شده و دارای اهمیت بوم‌شناختی هستند (Simaiika & Samways, 2011; Samways et al., 2025). این حشرات در تمامی قاره‌ها به‌جز جنوبگان حضور دارند و در زیستگاه‌های مختلف آب شیرین از جمله دریاچه‌ها، برکه‌ها، تالاب‌ها، رودخانه‌ها و جویبارها زندگی می‌کنند (Corbet, 1999; Alves-Martins et al., 2019). تنوع گونه‌ای آن‌ها در مناطق گرمسیری مانند جنوب شرقی آسیا، حوضه آمازون و بخش‌هایی از آفریقا در بالاترین سطح است. در سطح جهان، بیش از ۶۰۰۰ گونه از Odonata شناسایی شده‌اند. پراکندگی آن‌ها به‌شدت به وجود و کیفیت زیستگاه‌های آبی وابسته است که به‌عنوان مکان‌های تولیدمثل نقش حیاتی دارند. بنابراین شناخت مناطق با بالاترین مطلوبیت زیستگاهی و تنوع سنجاقک‌ها می‌تواند راه را برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی آن‌ها هموار کند (Clausnitzer et al., 2009; Kalkman et al., 2018; Alves-Martins et al., 2019; Samways et al., 2025).

از نظر بوم‌شناختی، سنجاقک‌ها هم شکارگر و طعمه هستند از این رو، جایگاه آن‌ها در زنجیره غذایی برای انتقال انرژی بین سطوح مختلف تغذیه‌ای بسیار حیاتی است. هرچند گرده‌افشانی عملکرد اصلی آن‌ها نیست، اما گاهی در نتیجه نشستن روی گل‌ها برای استراحت یا جذب رطوبت، نقش جانبی در گرده‌افشانی دارند (Corbet, 1999). سنجاقک‌ها به‌دلیل حساسیت بالای خود به تغییرات محیطی به‌ویژه در اکوسیستم‌های آب شیرین، به‌عنوان شاخص‌های زیستی استفاده می‌شوند (Simaiika & Samways, 2011). هم‌چنین، سنجاقک‌ها در پژوهش‌های مختلف برای پایش کیفیت و سلامت آب و تنوع زیستی استفاده می‌شوند (Acquah-Lampsey et al., 2019). حضور آن‌ها نشانه‌ای از کیفیت بالای آب است، زیرا بسیاری از گونه‌ها نسبت به آلودگی، کاهش اکسیژن یا وجود فلزات سنگین حساس‌اند (Cadena et al., 2023).

با وجود این نقش‌های حیاتی، سنجاقک‌ها با تهدیدهای فزاینده‌ای مانند تغییرات اقلیمی و تخریب زیستگاه مواجه‌اند که عمده‌تأثیرش در فعالیت‌های انسانی دارد به شکلی که ۱۶ درصد از آن‌ها تهدید شده هستند (Samways et al., 2025). از بین رفتن زیستگاه و تخریب آن مهم‌ترین تهدیدات سنجاقک‌ها در سراسر جهان است (Clausnitzer et al., 2009). تبدیل تالاب‌ها به زمین‌های کشاورزی، شهرنشینی، ساخت سد و

انحراف جریان آب موجب از بین رفتن یا ناپایداری زیستگاه‌های تولیدمثل آن‌ها می‌شود. آلودگی ناشی از کشاورزی و آفت‌کش‌ها، پسماندهای صنعتی و فاضلاب شهری کیفیت آب را کاهش داده و بر بقا و رشد لاروها تأثیر می‌گذارد (Kadoya et al., 2009; Raebel et al., 2012; Beketov et al., 2013; Nakanishi et al., 2018; Samways et al., 2025). تغییرات اقلیمی نیز تهدیدی عمده است که اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر سنجاقک‌ها دارد. افزایش دما نیز ممکن است باعث جابه‌جایی مناطق پراکنش گونه‌ها شود و منجر به ناهماهنگی‌هایی بین سنجاقک‌ها و طعمه‌هایشان یا قرار گرفتن در معرض شکارگران و رقیبان جدید شود. هم‌چنین، تغییرات اقلیمی می‌تواند مرفولوژی و فنولوژی سنجاقک‌ها را مختل کند و زمان‌بندی ظهور، جفت‌گیری و مهاجرت آن‌ها را تغییر داده و پیامدهایی برای تعاملات بوم‌شناختی داشته باشد (Hickling et al., 2005; Clausnitzer et al., 2009; Bush et al., 2014; Cadena et al., 2023).

با وجود تلاش‌های حفاظتی در حال افزایش در خصوص سنجاقک‌ها، اما توزیع و بوم‌شناسی بسیاری از گونه‌ها هنوز به‌درستی مطالعه نشده‌اند و کمبود داده مانعی در برنامه‌ریزی حفاظتی آن‌هاست. این مهم در برخی مناطق جغرافیایی مانند ایران که با کمبود منابع مالی و انسانی برای مطالعه تنوع زیستی روبرو هستند نمود بیش‌تری پیدا می‌کند و اطلاعات و دانش پایه در زمینه سنجاقک‌ها بسیار اندک است. این در حالی است که حفاظت مؤثر از سنجاقک‌ها نیازمند شناخت توزیع آن‌ها و مناطق با اولویت برای حفاظت آن‌ها است (Kalkman et al., 2018; Alves-Martins et al., 2019; Samways et al., 2025). هدف پژوهش حاضر مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه سنجاقک باریک‌بال سببنا (*Orthetrum sabina*) در ایران است. هم‌چنین تعیین مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه گونه از جمله اهداف این مطالعه است. از آنجایی که مدل‌سازی در مقیاس کشور ایران و در گستره جغرافیایی وسیعی انجام می‌گیرد فرضیه این پژوهش آن است که متغیرهای اقلیمی مهم‌ترین عامل مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه گونه در مقیاس وسیع هستند.

روش‌شناسی پژوهش

نقاط حضور

در مطالعه حاضر ۲۰۰ نقطه حضور از گونه سنجاقک باریک‌بال سببنا (*Orthetrum sabina*) از منابع مختلفی مانند الف) مقالات

اطمینان از عدم وجود هم خطی بین متغیرهای محیطی از شاخص تورم واریانس (VIF) (Quinn & Keough, 2002) استفاده شد و متغیرهای با شاخص تورم واریانس کم تر از ۱۰ وارد فرایند مدل سازی شد. شاخص تورم واریانس در بسته آماری 'usdm' (Naimi, 2015) محاسبه شد.

مدل سازی تغییرات اقلیمی

امروزه روش های متعددی برای مدل سازی مطلوبیت زیستگاه گونه ها معرفی شده است و تعداد قابل توجهی بسته های آماری که امکان ساخت مدل های مطلوبیت زیستگاه را فراهم می کنند و تعداد این مدل ها و بسته های آماری در حال افزایش است (Guisan et al., 2020). اما مدل مکسنت که از جمله اولین مدل های معرفی شده است و جز کارآمدترین روش های مدل سازی توزیع گونه ها به شمار می رود (Elith et al., 2011; Radosavljevic & Anderson, 2014; Guisan et al., 2017). در پژوهش حاضر از مدل مکسنت نسخه ۴/۳/۳ برای مدل سازی مطلوبیت زیستگاه استفاده شد (Phillips et al., 2025). برای اجرای نرم افزار ۵۰۰۰ نقطه زمینه انتخاب شد. برای سنجش کارایی مدل ساخته شده از معیار سطح زیر نمودار (AUC) به دست آمده از منحنی ROC استفاده شد (Phillips et al., 2017; Guisan et al., 2017; al., 2006). براساس معیار AUC، مدل های که مقدار AUC برابر با ۰/۵ داشته باشند برابر با مدل کاملاً تصادفی، مدل هایی که دارای AUC بیش تر از ۰/۷۵ هستند، مدل قابل قبول و مدل های که AUC بیش تر از ۰/۹ دارند، مدل های عالی محسوب می شوند (Swets, 1988).

زیستگاه های مطلوب بر مبنای اکورژن های آب شیرین

بعد از ساخت مدل مطلوبیت زیستگاه، مساحت زیستگاه های مطلوب در هر یک از اکورژن های آب شیرین کشور تعیین شد (Abell et al., 2008). برای این منظور نقشه های مطلوبیت زیستگاه گونه ها با شبکه مناطق تحت حفاظت کشور هم پوشی داده شد. سپس مساحت زیستگاه های مطلوب در داخل مناطق تحت حفاظت در فضای نرم افزار ArcGIS 10.6 محاسبه شد. تبدیل نقشه های پیوسته مطلوبیت زیستگاهی به نقشه های ناپیوسته مطلوب و نامطلوب براساس آستانه ۱۰ درصد پایین مطلوبیت در نقاط حضور صورت گرفت (Guisan et al., 2017).

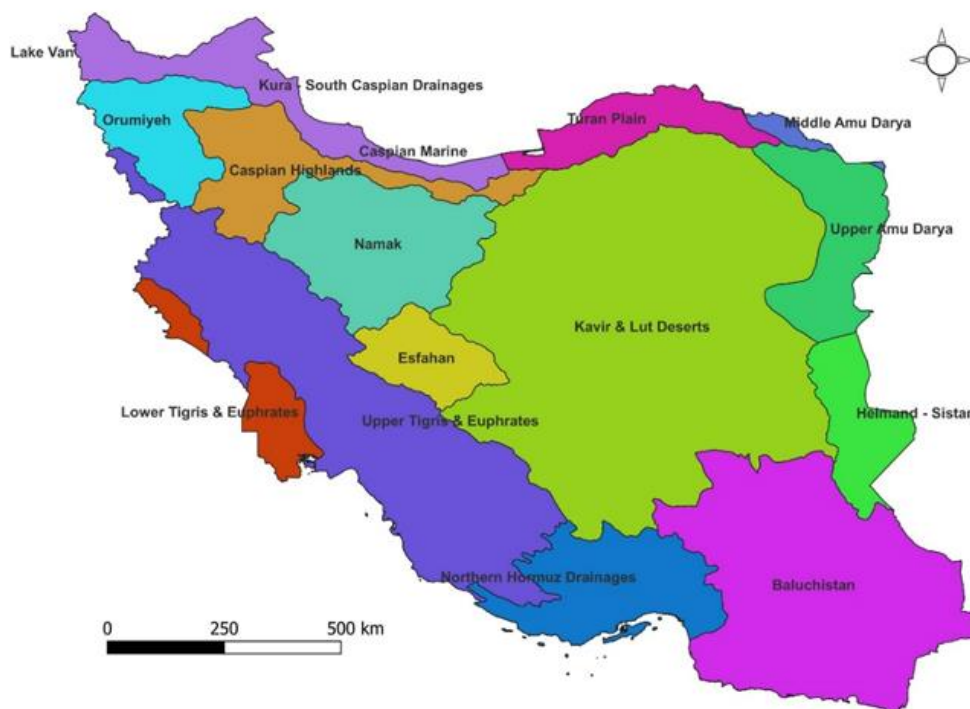
منتشر شده، ب) جستجو در منابع اطلاعاتی برخط مانند GBIF، iNaturalist و پ) بازدیدهای صحرایی جمع آوری شد (شکل ۱). نظر به این که نقاط حضور از منابع مختلف جمع آوری شدند، بعد از تجمیع نقاط به دست آمده از منابع مختلف ابتدا نقاط تکراری با استفاده از نرم افزار ENMTools حذف شد. سپس به دلیل این که دقت لایه های اقلیمی مورد استفاده در مطالعه حاضر یک کیلومتر است، فاصله نقاط حضور با استفاده از بسته آماری raster (Hijmans, 2021) در فضای نرم افزار R (R Core Team, 2025) به یک کیلومتر محدود شد.



شکل ۱. زیستگاه گونه سنجاقک باریک بال سببنا (*Orthetrum sabina*) در استان گیلان. عکس از مسعود یوسفی (۱۳۹۹).

متغیرهای محیطی

برای مدل سازی مطلوبیت زیستگاه سنجاقک ها از متغیرهای محیطی شامل اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و متغیرهای مرتبط با حضور انسان استفاده شد. این متغیرهای نقش مهمی در شکل دهی به توزیع و تنوع سنجاقک ها دارند (Castillo-Pérez et al., 2025). داده های اقلیمی از بانک داده های اقلیمی Chelsa تهیه گردید (Karger et al., 2017). مدل رقومی ارتفاع از مدل Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) استخراج شده و متغیرهای مربوط به سکونتگاه های انسانی، زمین های کشاورزی از لایه کاربری اراضی سازمان جنگل ها و مراتع کشور استخراج گردید. سپس لایه های اقلیمی و غیر اقلیمی در فضای نرم افزار ArcGIS 10.6 با استفاده از مرز منطقه تحت مطالعه برش داده شد. شاخص رد پای انسانی از لایه جهانی شاخص رد پای انسانی استخراج شد (Venter et al., 2016). از آنجایی که استفاده از متغیرهای محیطی دارای هم خطی، سبب ایجاد خطا در نتایج مدل سازی می شود، برای حصول



شکل ۲. نقشه اکوریژن‌های آب شیرین در ایران

هستند. شاخص پوشش گیاهی با ۲۹/۱ درصد مشارکت در مدل دارای رابطه مثل و هم‌چنین شاخص درپای انسانی نیز با ۱۰/۶ درصد مشارکت در مدل دارای رابطه مثبت با مطلوبیت زیستگاه گونه بود.

جدول ۱. اهمیت متغیرهای محیطی اثرگذار بر مطلوبیت زیستگاهی سنجاقک باریک‌بال سببنا (*Orthetrum sabina*). رابطه هر یک از متغیرهای محیطی با مطلوبیت زیستگاه گونه در ستون سوم ارائه شده است. بارش در گرم‌ترین فصل سال (Bio18)، بارش در خشک‌ترین ماه سال (Bio14)، تغییرات فصلی دما (Bio4)، بارش در سردترین ماه سال (Bio19)، دما در خشک‌ترین فصل سال (Bio9)، تغییرات روزانه دما (Bio2)، دما در مرطوب‌ترین فصل سال (Bio8) و تغییرات فصلی بارش (Bio15).

متغیر محیطی	درصد اهمیت	رابطه با مطلوبیت زیستگاه
ارتفاع	۳۳	منفی
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)	۲۹/۱	مثبت
شاخص ردپای انسانی	۱۰/۶	مثبت
Bio18	۱۰/۳	مثبت
Bio14	۳/۵	مثبت
Bio4	۳	مثبت و منفی
Bio19	۲/۳	مثبت
Bio9	۱/۹	مثبت و منفی
Bio2	۱/۹	مثبت، منفی، مثبت و منفی
Bio8	۱/۸	مثبت و منفی
فاصله تا زمین‌های کشاورزی	۱/۲	منفی
Bio15	۱/۱	مثبت، منفی و مثبت
فاصله تا سکونتگاه‌های انسانی	۰/۵	مثبت

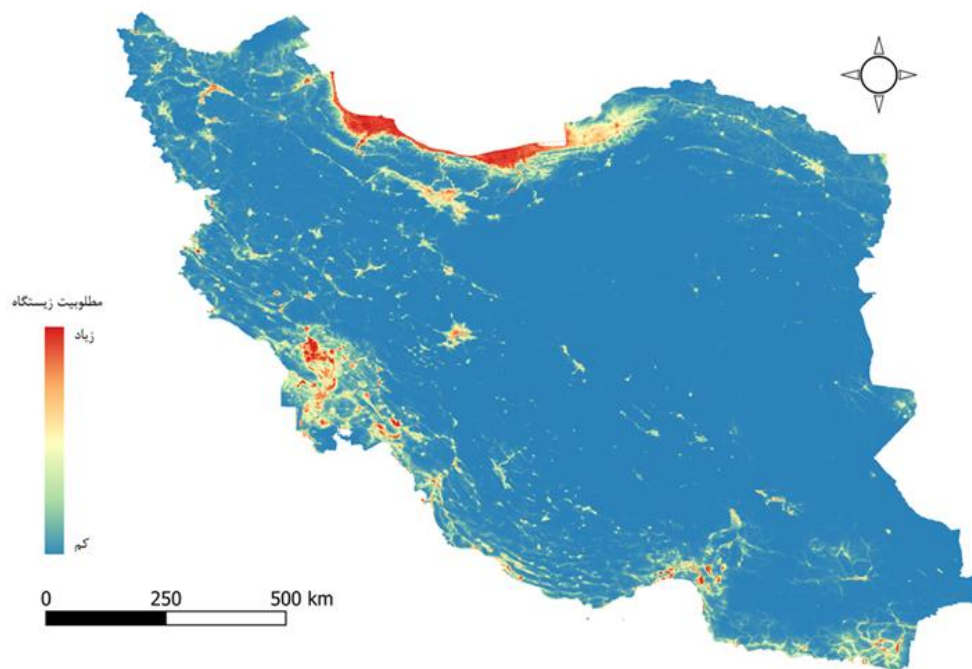
یافته‌های پژوهش

مطلوبیت زیستگاهی

براساس معیار سنجش کارایی مدل یعنی AUC مدل مطلوبیت زیستگاه گونه سنجاقک باریک‌بال سببنا دارای کارایی بالا است ($AUC=0/946 \pm 0/035$)، بنابراین نتایج مدل قابل استناد است. براساس مدل مطلوبیت زیستگاهی گونه نوار شمالی رشته کوه البرز و هم‌چنین جنوب غرب ایران بیش‌ترین گستره زیستگاه‌های مطلوب گونه را دارا هستند. مناطق مرکزی کشور و هم‌چنین مناطق شرقی کم‌ترین میزان مطلوبیت زیستگاهی را در سطح کل کشور برای گونه دارا هستند (شکل ۳).

اهمیت متغیرها

سنجش اهمیت متغیرهای مهم تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاهی سنجاقک باریک‌بال سببنا نشان داد که ارتفاع، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص ردپای انسانی و بارش در گرم‌ترین فصل سال مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر مطلوبیت زیستگاهی گونه هستند. ارتفاع با ۳۳ درصد مشارکت در ساخت مدل دارای رابطه منفی با مطلوبیت زیستگاه بود به شکلی که زیستگاه‌های با ارتفاع بیش از ۵۰۰-۱۰۰۰ متر دارای مطلوبیت بسیار اندکی برای گونه



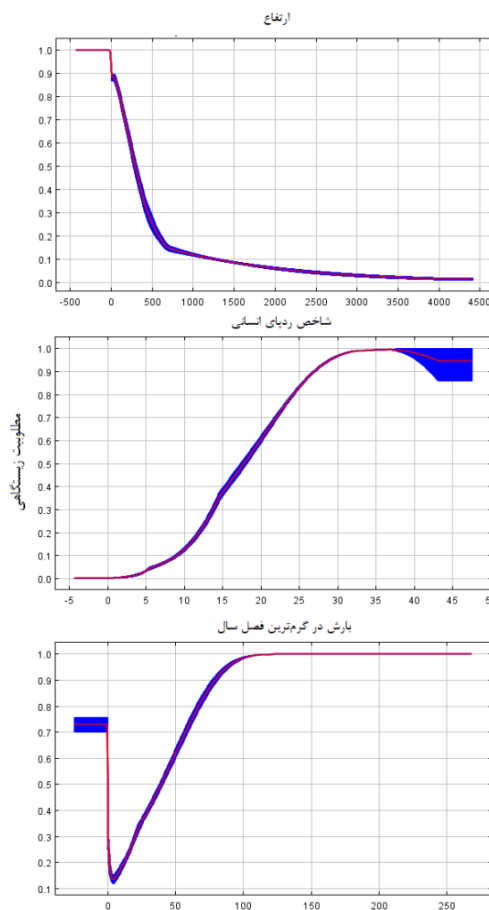
شکل ۳. مطلوبیت زیستگاه سنجاک باریک بال سبينا (*Orthetrum sabina*) در ایران.

زیستگاه های مطلوب در اکوریژن های آب شیرین

برای محاسبه مساحت زیستگاه های مطلوب گونه در اکوریژن های آب شیرین، مدل مطلوبیت زیستگاه گونه با نقشه اکوریژن های آب شیرین کشور همپوشانی داده شد. براساس نتایج اکوریژن های Upper Tigris & Euphrates با ۱۷۰۳۴ کیلومترمربع و Kura-South Caspian Drainages با ۱۶۴۲۳ کیلومترمربع بیشترین وسعت زیستگاه های مطلوب گونه را در خود جای داده اند.

جدول ۲. مساحت زیستگاه های مطلوب در اکوریژن های آب شیرین ایران

مساحت (کیلومترمربع)	نوع زیستگاه	اکوریژن
17,034	Temperate floodplain rivers and wetlands	Upper Tigris & Euphrates
16,423	Montane freshwaters	Kura - South Caspian Drainages
11,651	temperate floodplain rivers and wetlands	Lower Tigris & Euphrates
10,451	Xeric freshwaters and endorheic basins	Turan Plain
6,098	Xeric freshwaters and endorheic basins	Namak
5,986	Xeric freshwaters and endorheic basins	Baluchistan
5,586	Temperate coastal rivers	Northern Hormuz Drainages
2,412	Xeric freshwaters and endorheic basins	Orumiyeh
1,959	Xeric freshwaters and endorheic basins	Caspian Highlands
1,723	Xeric freshwaters and endorheic basins	Esfahan
1,129	Xeric freshwaters and endorheic basins	Kavir & Lut Deserts
864	Montane freshwaters	Upper Amu Darya
276	Xeric freshwaters and endorheic basins	Helmand - Sistan
164	Temperate upland rivers	Middle Amu Darya
25	Large lakes	Caspian Marine



شکل ۳. منحنی پاسخ مهم ترین متغیرهای تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاهی سنجاک باریک بال سبينا (*Orthetrum sabina*)

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مدل مطلوبیت زیستگاه گونه سنجاقک باریک‌بال سبینا با استفاده از نقاط حضور گونه و متغیرهای محیطی تهیه شد و نتایج نشان داد که گستره‌های وسیعی در شمال رشته کوه البرز برای زیست گونه مناسب است. بر خلاف فرضیه این مطالعه متغیرهای غیراقلیمی یعنی ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی و شاخص ردپای انسانی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه گونه بودند و متغیرهای اقلیمی در رتبه چهارم قرار داشتند که این با مطالعات صورت گرفته بر سایر سنجاقک‌ها همخوانی ندارد؛ به عنوان مثال، برای سنجاقک *Pantala flavescens* متغیرهای حداکثر دمای گرم‌ترین ماه و بارش در مرطوب‌ترین ماه مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر توزیع گونه بودند (Liao et al., 2023). دلیل اهمیت بالای شاخص ردپای انسانی در مطلوبیت زیستگاهی این گونه سنجاقک این است که اکثر فعالیت‌های توسعه انسانی در مجاورت منابع آب شیرین رخ داده بنابراین مناطق با شاخص ردپای انسانی بیش‌تر که به عبارتی دیگر مناطق با منابع آب شیرین بیش‌تر هستند برای گونه با اهمیت تشخیص داده شدند. اما باید به این نکته توجه کرد که این مناطقی که براساس شاخص ردپای انسانی برای گونه مطلوب تشخیص داده شده بیش‌تر زیستگاه مناسبی برای گونه نیستند و برعکس مناطق نامطلوب از نظر اکولوژیکی هستند. برای مثال رودخانه‌های مجاور زمین‌ها کشاورزی که با وجود داشتن زیستگاه مناسب از نظر فیزیکی برای گونه اما از نظر آلودگی می‌توان آن‌ها را زیستگاه‌های کاملاً نامناسب در نظر گرفت چرا که مملو از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی استفاده شده در زمین‌ها کشاورزی هستند (Hofhansl & Schneeweiss, 2008; Kadoya et al., 2009; Nakanishi et al., 2018; Samways et al., 2025).

گستره نوار شمالی کشور برای گونه سنجاقک باریک‌بال سبینا با مطلوبیت بالا تشخیص داده شد. این مناطق بر گستره جنگل‌های هیرکانی کشور منطبق است که این جنگل‌ها در دوران یخچالی عصر پلیستوسن برای گروه‌های مختلف جانوری به عنوان یک پناهگاه اقلیمی عمل کرده است (Yousefi et al., 2023). بنابراین با توجه به مطلوبیت بالای آن‌ها برای حضور گونه احتمالاً در گذشته نیز به عنوان یک زیستگاه کلیدی برای گونه بوده‌اند. اما برای بررسی این موضوع نیاز به داده‌های ژنتیکی گونه و بازسازی مطلوبیت زیستگاه گونه در گذشته است.

اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توزیع گونه‌هاست، اما تحت تأثیر تغییرات اقلیمی انتظار می‌رود توزیع گونه‌ها در نتیجه تغییر اقلیم تغییر کند (Hannah, 2021). مطالعات صورت گرفته بر سنجاقک‌ها در سایر مناطق کره زمین نشان می‌دهد که گرمایش جهانی سبب جابجایی این گونه‌ها به زیستگاه‌های مرتفع‌تر خواهد شد (Liao et al., 2023). همچنین این گونه‌ها تحت تأثیر تغییرات اقلیمی به مناطق با عرض‌های جغرافیایی شمالی‌تر جابجا خواهند شد (Hickling et al., 2005). Boys و همکاران (۲۰۲۰) به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه و سنجش اثرات تغییرات اقلیمی بر دو گونه سنجاقک اندمیک (*Gomphurus ozarkensis*) و (*Somatochlora ozarkensis*) در آمریکا پرداختند. در این مطالعه از روش‌های مدل‌سازی توزیع گونه‌ای (دو روش مکسنت و جنگل تصادفی) استفاده شد. نتایج نشان داد که تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم حفظ زیستگاه‌های که در حال حاضر مطلوب هستند در آینده نیز اهمیت زیادی خواهد داشت چرا که این مناطق به عنوان پناهگاه‌های اقلیمی آینده خواهند بود (Boys et al., 2020). نظر به این که نحوه تأثیرپذیری سنجاقک‌ها از تغییرات اقلیمی آینده در ایران مطالعه نشده است، پیشنهاد می‌شود در آینده مطالعه نحوه تأثیرپذیری این گونه‌ها از تغییرات اقلیمی در اولویت بررسی قرار گیرد.

سنجاقک‌ها از مهم‌ترین اجزای بوم‌سازگان‌های آب شیرین هستند و حفاظت از سنجاقک‌ها نه تنها به معنای حفظ گونه‌هاست، بلکه به معنای حفاظت از اکوسیستم‌های آب شیرین است که موجودات بسیاری به آن وابسته‌اند (Clausnitzer et al., 2009; Simaika & Samways, 2011; Berquier et al., 2016). سنجاقک‌ها به عنوان گونه‌های پرچمدار برای حفاظت از منابع آب، فرصتی منحصر به فرد برای جلب مشارکت عمومی در حفاظت بوم‌شناختی فراهم می‌کنند و پیوندی میان دانش علمی، سیاست‌گذاری و اقدام‌های حفاظتی به وجود می‌آورند بنابراین باید در برنامه‌ریزی‌های آموزشی در اولیت قرار گیرند (Samways et al., 2025). سرمایه‌گذاری در حفاظت آن‌ها موجب بهره‌مندی چندجانبه، از سلامت اکوسیستم‌ها تا ارتقای رفاه انسانی می‌شود و به تحقق اهداف گسترده‌تر حفاظت از تنوع زیستی و توسعه پایدار کمک می‌کند (Clausnitzer et al., 2009; Kalkman et al., 2019; Acquah-Lampsey et al., 2018). بنابراین زیستگاه‌های مطلوب شناسایی شده در مطالعه حاضر اهمیت بالایی برای حفاظت و برنامه‌ریزی برای مشارکت دادن انسان‌ها در امر حفاظت تنوع زیستی است.

هم چنین سنجاقل ها با تغذیه از حشرات آفت و پشه های ناقل بیماری ها مانند مالاریا، تب دنگی و ویروس نیل غربی نقش مهمی در کنترل طبیعی آفات و بیماری ها دارند. هرچند سنجاقل ها این ناقلین را به طور کامل حذف نمی کنند، اما در کاهش قابل توجه جمعیت آن ها در زیستگاه های طبیعی مانند تالاب ها بسیار مؤثرند. بنابراین شناخت و حفاظت مناطق با تنوع زیستی زیاد سنجاقل ها هم خدمات اکوسیستمی آن ها را افزایش می دهد و هم کمک مؤثری در کنترل آفات و بیمارهای ها خواهد داشت. بنابراین نتایج این پژوهش می تواند از طرفی مورد استفاده سازمان حفاظت محیط زیست و سایر نهادهای مربوط به محیط زیست و حفاظت شود و هم مورد استفاده وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی نیز قرار گیرد که سبب کنترل حشرات ناقل بیمارهای ها می شوند.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت بنیاد علم ایران (شماره طرح: ۴۰۴۰۶۲۷) صورت گرفته است.

اکوریژن های Upper Tigris & Euphrates با ۱۷۰۳۴ کیلومترمربع و Kura-South Caspian Drainages با ۱۶۴۲۳ کیلومترمربع بیشترین وسعت زیستگاه های مطلوب گونه را در خود جای داده اند بنابراین اولویت بالایی نیز برای حفاظت گونه دارند. از آنجایی که در توسعه مناطق حفاظت شده کشور اکوریژن های آب شیرین کم تر مورد توجه قرار گرفته و تمرکز اصلی بر بیوم های خشکی بوده پیشنهاد می شود در توسعه آتی مناطق حفاظت شده در ایران با توجه به اکوریژن های آب شیرین و حضور گونه های شاخص زیستی مانند سنجاقل ها انجام شود. به عبارتی دیگر در توسعه مناطق حفاظت شده آتی پراکندگی اکوریژن های آب شیرین به عنوان یک فاکتور مهم در نظر گرفته شود و سعی شود حداقل بخشی از اکوریژن های آب شیرین کشور در گستره مناطق حفاظت شده قرار بگیرند و به طور کلی سنجاقل ها در برنامه ریزی حفاظتی در کنار سایر گونه ها مد نظر قرار گیرند (Samways et al., 2025).

منابع

- Abell, R., Thieme, M. L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Contreras-Balderas, S., Bussing, W., Stiassny, M. L. J., Skelton, P., Allen, G. R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J. V., Heibel, T. J., Wikramanayake, E., Olson, D., López, H. L., Reis, R. E., Lundberg, J. G., Sabaj Pérez, M. H., & Petry, P. (2008). Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience*, 58(5), 403–414. DOI: 10.1641/B580507
- Acquah-Lampsey, D., Kyerematen, R., & Owusu, E. O. (2013). Using odonates as markers of the environmental health of water and its land related ecotone. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 5, 761–769.
- Alves-Martins, F., Calatayud, J., Medina, N. G., De Marco, P., Juen, L., & Hortal, J. (2019). Drivers of regional and local diversity of Amazonian stream Odonata. *Insect Conservation and Diversity*, 12, 251–261.
- Beketov, M. A., Kefford, B. J., Schäfer, R. B., & Liess, M. (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 11039–11043.
- Bush, A. A., Nipperess, D. A., Duursma, D. E., Theischinger, G., Turak, E., & Hughes, L. (2014). Continental-scale assessment of risk to the Australian Odonata from climate change. *PLoS ONE*, 9, 1–12.
- Cadena, J. T., Boudot, J.-P., Kalkman, V. J., & Marshall, L. (2023). Impacts of climate change on dragonflies and damselflies in West and Central Asia. *Diversity and Distributions*, 29, 912–925.
- Clausnitzer, V., Kalkman, V. J., Ram, M., Collen, B., Baillie, J. E. M., Bedjanič, M., Darwall, W. R. T., Dijkstra, K.-D. B., Dow, R., Hawking, J., Karube, H., Malikova, E., Paulson, D., Schütte, K., Suhling, F., Villanueva, R., von Ellenrieder, N., & Wilson, K. (2009). Odonata enter the biodiversity crisis debate: The first global assessment of an insect group. *Biological Conservation*, 142, 1864–1869.
- Corbet, P. S. (1999). *Dragonflies: Behavior and ecology of Odonata*. Harley Books.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models: With applications in R*. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781139028271
- Hannah, L. (2021). *Climate change biology* (3rd ed.). Academic Press. DOI: 10.1016/C2018-0-01965-9
- Hickling, R., Roy, D. B., Hill, J. K., & Thomas, C. D. (2005). A northward shift of range margins in British Odonata. *Global Change Biology*, 11, 502–506.

- Hijmans, R. J. (2021). *raster: Geographic data analysis and modeling* (R package version 3.4-13) [Computer software].
- Hofhansl, F., & Schneeweis, S. (2008). Banderillas: Effects of deforestation on dragonflies (Insecta, Odonata) in the Pacific lowland of Costa Rica (survey). In *Natural and cultural history of the Golfo Dulce region, Costa Rica* (pp. 237–248). Biologiezentrum.
- Kadota, T., Suda, S.-i., & Washitani, I. (2009). Dragonfly crisis in Japan: A likely consequence of recent agricultural habitat degradation. *Biological Conservation*, 142, 1899–1905.
- Kalkman, V. J., Boudot, J.-P., Bernard, R., De Knijf, G., Suhling, F., & Termaat, T. (2018). Diversity and conservation of European dragonflies and damselflies (Odonata). *Hydrobiologia*, 811, 269–282.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrer, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4, 170122. DOI: 10.1038/sdata.2017.122
- Liao, J., Wu, Z., Wang, H., Xiao, S., Mo, P., & Cui, X. (2023). Projected effects of climate change on species range of *Pantala flavescens*, a wandering glider dragonfly. *Biology*, 12(2), 226. DOI: 10.3390/biology12020226
- Naimi, B. (2015). *Uncertainty analysis for species distribution models* (R package version 1.1-15) [Computer software].
- Nakanishi, K., Yokomizo, H., & Hayashi, T. I. (2018). Were the sharp declines of dragonfly populations in the 1990s in Japan caused by fipronil and imidacloprid? An analysis of Hill's causality for the case of *Sympetrum frequens*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 35352–35364.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887–893. DOI: 10.1111/ecog.03049
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2025). *Maxent software for modeling species niches and distributions* (Version 3.4.4) [Computer software]. American Museum of Natural History.
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing.
- Radosavljevic, A., & Anderson, R. P. (2014). Making better Maxent models of species distributions: Complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, 41(4), 629–643. DOI: 10.1111/jbi.12227
- Raebel, E. M., Merckx, T., Feber, R. E., Riordan, P., Thompson, D. J., & Macdonald, D. W. (2012). Multi-scale effects of farmland management on dragonfly and damselfly assemblages of farmland ponds. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 161, 80–87.
- Samways, M. J., Córdoba-Aguilar, A., Deacon, C., Alves-Martins, F., Baird, I. R. C., Barmentlo, S. H., Brasil, L. S., Bried, J. T., Clausnitzer, V., Cordero-Rivera, A., Datto-Liberato, F. H., De Knijf, G., Dolný, A., Futahashi, R., Guillermo-Ferreira, R., Hassall, C., Juen, L., Khelifa, R., Lozano, F., Muzón, J., Sahlén, G., Herrera, M. S., Simaika, J. P., Stoks, R., Suárez-Tovar, C. M., Suhling, F., Tsubaki, Y., & Vilenica, M. (2025). Scientists' warning on the need for greater inclusion of dragonflies in global conservation. *Insect Conservation and Diversity*, 18, 465–484.
- Simaika, J. P., & Samways, M. J. (2011). Comparative assessment of indices of freshwater habitat conditions using different invertebrate taxon sets. *Ecological Indicators*, 11, 370–378.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.
- 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. (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*, 7, 12558.
- Yousefi, M., Mahmoudi, A., Vaissi, S., & Kafash, A. (2023). Diversity, diversification and distribution of Iranian vertebrates: The legacy of mountains uplifting, past climatic oscillations, sea level fluctuations and geographical barriers. *Biodiversity and Conservation*, 32, 7–36.