

Original Article



Prediction of Climatic Habitats of *Acanthophyllum crassifolium* Boiss in Chaharmahal va Bakhtiari Province

Received: 2025.08.13

Accepted: 2026.01.07

Elham Ghehsareh Ardestani^{1*}, Reyhane Asadi¹, Mehdi Pajouhesh¹,
Nasrin Gharahi², Mohsen Bahmani³, Seyede Samira Soleimanipour⁴

¹ Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

² Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

³ Department of Wood and Furniture Industry Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

⁴ Department of Forestry, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Climate change is one of the most significant environmental challenges of the current century, with wide-ranging impacts on natural resources, particularly water and soil, leading to shifts in their temporal and spatial patterns. A key consequence of this phenomenon is the alteration of the distribution of plant species and rangeland ecosystems, which threatens the persistence of native species. *Acanthophyllum crassifolium* Boiss, a native species of Iran, grows in arid and semi-arid regions and plays a significant role in soil stabilization and vegetation cover in mountainous areas. This study aims to identify current and future climatic habitats suitable for this species in Chaharmahal va Bakhtiari Province, to support conservation planning.

Material and methods: We used presence data for *A. crassifolium* from 34 sites, along with 500 absence points. For bioclimatic variables, 19 variables were extracted for three time periods (present, 2050, and 2080) from the CHELSA database using two general circulation models (GFDL-ESM4 and MRI-ESM2-0) under three Representative Concentration Pathways (SSP126, SSP370, and SSP585) with high spatial resolution. Topographic variables (elevation, slope, and aspect) were also used. Pearson correlation test was employed to remove highly collinear variables, resulting in seven predictors (5 bioclimatic and 2 topographic) being entered into the model as predictive factors along with nine algorithms. The algorithms were ensemble-merged to improve predictive accuracy. Finally, we integrated a Human Pressure index with the suitability maps (high and good suitability for *A. crassifolium*) to obtain the final potential distribution under current and future conditions.

Results and discussion: The evaluation indices showed excellent performance of the ensemble model in predicting the distribution of *A. crassifolium*. Spatial analysis of the habitats of this species revealed that most of the highly and moderately suitable habitats for the species are located in the northeastern, eastern, and southeastern parts of Chaharmahal and Bakhtiari Province. The three environmental variables contributing most to the species distribution were: mean monthly precipitation amount of the coldest quarter, temperature seasonality, and mean monthly precipitation amount of the wettest quarter. Under two GCMs (GFDL-ESM4 and MRI-ESM2-0) and three SSP scenarios (SSP1-26, SSP3-7-0, SSP5-8-5), the spatial extent of suitable habitats is projected to decline substantially, by approximately 63–99% across the study area. This decline reflects the significant impact of climate change on the natural habitats of this species. Newly suitable areas are projected to emerge, comprising about 16–105% of the province. The net change in habitat extent relative to the current baseline is estimated to range from 15% to –68%. Furthermore, most areas predicted to be suitable under future climate scenarios are currently under relatively low human pressure and other socio-economic stresses.

Conclusion: The distribution pattern of human Pressure and species distribution models in relation to *A. crassifolium* indicates a warning signal for the conservation and restoration of this valuable species. The habitats of this species should be recognized as conservation priorities and must be explicitly addressed in management planning and conservation strategies to reduce the negative impacts of human pressures and to create favorable conditions for the survival of this valuable species.

Keywords: Climate change, Habitat, Ensemble modeling, Human pressure

How to cite this article:
Ghehsareh Ardestani, E.,
Asadi, R., Pajouhesh, M.,
Gharahi, N., Bahmani, M.,
and Soleimanipour, S.S.
2026. Prediction of Climatic
Habitats of
*Acanthophyllum
crassifolium* Boiss in
Chaharmahal va Bakhtiari
Province. Adv. Environ. Sci.
24 (2): 475-494.

* Corresponding Author Email Address: elham.ghehsareh@sku.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2026.241097.1535



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷

پیش‌بینی رویشگاه‌های اقلیمی گونه چوبک بیابانی (*Acanthophyllum crassifolium* Boiss) در استان چهارمحال و

بختیاری

الهام قهساره اردستانی^{۱*}، ریحانه اسدی^۱، مهدی پژوهش^۱، نسرين قرهی^۲، محسن بهمنی^۳،سیده سمیرا سلیمانی پور^۴

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: تغییر اقلیم از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن حاضر است که تأثیرات گسترده‌ای بر منابع طبیعی، به‌ویژه آب‌و‌خاک دارد و منجر به تغییر در الگوهای زمانی و مکانی آن‌ها می‌شود. یکی از پیامدهای مهم این پدیده، تغییر در پراکنش گونه‌های گیاهی و اکوسیستم‌های مرتعی است که بقای گونه‌های بومی را تهدید می‌کند. گونه چوبک بیابانی (*Acanthophyllum crassifolium* Boiss) از جمله گونه‌های بومی ایران است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک رشد می‌کند و نقش مؤثری در پایداری خاک و پوشش گیاهی مناطق کوهستانی ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف شناسایی رویشگاه‌های اقلیمی مناسب برای این گونه در استان چهارمحال و بختیاری در شرایط فعلی و آینده، جهت برنامه‌ریزی برای حفاظت از آن انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از ۳۴ نقطه حضور گونه چوبک بیابانی به همراه ۵۰۰ نقطه عدم حضور این گونه استفاده شد. داده‌های ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی برای سه بازه زمانی (حال حاضر، سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) از پایگاه CHLSA؛ دو مدل گردش عمومی (GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0) تحت سه سناریوی انتشار مختلف (SSP126، SSP370 و SSP585) با دقت مکانی بالا استخراج شدند. افزون بر این، داده‌های فیزیوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب به کار گرفته شدند. با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون، متغیرهای با هم‌خطی بالا حذف و درنهایت ۷ متغیر (۵ زیست‌اقلیمی و ۲ فیزیوگرافی) به عنوان عوامل پیش‌بینی کننده همراه با ۹ الگوریتم وارد مدل شدند. الگوریتم‌ها به‌صورت اجماعی برای افزایش دقت پیش‌بینی ترکیب شدند. درنهایت، نقشه شاخص فشار انسانی با نقشه رویشگاه‌های عالی و خوب گونه چوبک بیابانی ادغام شد.

نتایج و بحث: شاخص‌های ارزیابی، عملکرد عالی مدل اجماعی را در پیش‌بینی پراکنش گونه چوبک بیابانی نشان دادند. با تحلیل پراکنش مکانی رویشگاه‌های این گونه، بخش عمده رویشگاه‌های عالی و خوب در شمال شرقی، شرق و اندکی جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری قرار دارند. سه عامل محیطی میانگین بارندگی ماهانه سردترین فصل، فصلی بودن دما و میانگین بارندگی ماهانه مرطوب‌ترین فصل بیشترین سهم در پراکنش گونه چوبک بیابانی به خود اختصاص دادند. بررسی تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه چوبک بیابانی تحت تأثیر دو مدل گردش عمومی و سه سناریوی اقلیمی در بازه‌های زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نشان داد که وسعت رویشگاه‌های مناسب این گونه به ترتیب بین ۶۳/۸۰ تا ۹۹/۵۴ درصد کاهش می‌یابد. این کاهش بیانگر تأثیر قابل توجه تغییرات اقلیمی بر رویشگاه‌های طبیعی این گونه است. علاوه بر این، مناطق جدید مستعد حضور این گونه ۱۶/۲۹ تا ۱۴/۵۲ درصد ایجاد خواهند شد. با این وجود، نرخ خالص تغییرات وسعت رویشگاه‌های این گونه نسبت به شرایط فعلی بین ۱۵/۳۸ تا ۶۸/۳۳- برآورد شده است. همچنین اکثر مناطقی که در سناریوهای اقلیمی حال برای این گونه مناسب باشند، در حال حاضر در حد کم تحت تأثیر فشارهای انسانی و سایر عوامل اجتماعی-اقتصادی قرار دارند.

نتیجه‌گیری: توزیع ردپای انسان و مدل‌های پراکنش گونه‌ای در رابطه با گونه چوبک بیابانی، نشان‌دهنده زنگ هشدار برای حفاظت و احیای این گونه ارزشمند است. از این‌رو، رویشگاه‌های این گونه باید به‌عنوان اولویت‌های حفاظتی شناخته شوند و لازم است در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و راهبردهای حفاظتی، به‌طور خاص مورد توجه قرار گیرند تا اثرات منفی فشارهای انسانی کاهش یافته و شرایط مطلوب برای بقای این گونه ارزشمند فراهم آید.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رویشگاه، مدل‌سازی اجماعی، فشار انسانی

^۱ گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۲ گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۳ گروه مهندسی صنایع چوب و میلمان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۴ گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

استناد به این مقاله: قهساره

اردستانی، ا.، اسدی، ر.، پژوهش، م.، قرهی، ن.، بهمنی، م.، س.س. سلیمانی پور. ۱۴۰۴. پیش‌بینی رویشگاه‌های اقلیمی گونه چوبک بیابانی (*Acanthophyllum crassifolium* Boiss) در استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۴ (۲): ۴۷۵-۴۹۴.

* Corresponding Author Email Address: elham.ghesareh@sku.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2026.241097.1535



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

مقدمه

دگرگونی در ترکیب و تراکم گونه‌های گیاهی در مراتع منجر شوند (Heydari, 2019; Karimzadeh *et al.*, 2010). در نتیجه، ضرورت اتخاذ راهبردهای مؤثر برای کاهش خسارات، سازگاری با شرایط جدید و حفاظت پایدار از منابع آب‌و خاک بیش‌ازپیش احساس می‌شود (Mekonnen *et al.*, 2018).

در کنار عوامل اقلیمی، فعالیت‌های انسانی از جمله احداث جاده و راه‌آهن، تخریب و تکه‌تکه‌سازی زیستگاه‌ها و تغییر کاربری اراضی نیز فشار مضاعفی بر اکوسیستم‌های مرتعی وارد می‌کنند. این مداخلات نه تنها ساختار طبیعی رویشگاه‌ها را دگرگون می‌سازد، بلکه آسیب‌پذیری گونه‌های گیاهی را در برابر تغییرات محیطی افزایش می‌دهد (Allan *et al.*, 2017).

با توجه به شتاب روزافزون تغییرات اقلیمی و تشدید فعالیت‌های انسانی، اکوسیستم‌های مرتعی با دگرگونی‌های سریعی مواجه شده‌اند که پیامد آن، تخریب گسترده منابع خاک، آب و پوشش گیاهی است. در این شرایط، یافتن روش‌های نوین برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی، به راهکاری حیاتی برای مدیریت پایدار مراتع و حفاظت از منابع آب‌و خاک تبدیل شده است.

یکی از این روش‌ها، مدل‌سازی توزیع گونه‌هاست که به‌طور گسترده برای مطالعه پراکنش گونه‌ها، سنجش تنوع زیستی و تحلیل الگوهای ترکیبی گونه‌ها در مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل‌ها با تولید نقشه‌های جامع، امکان شناسایی و پیش‌بینی مناطقی که در حال حاضر یا در آینده با تغییرات پوشش گیاهی مواجه خواهند شد را فراهم می‌کنند (Zhang *et al.*, 2012).

امروزه برای توصیف توزیع گونه‌ها از مدل‌های متنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN: Artificial Neural Network)، رگرسیون سازشی چند متغیره با

در دهه‌های اخیر، حفاظت از منابع آب‌و خاک به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی تبدیل شده و تدوین راهبردها و سیاست‌های مؤثر و فوری را می‌طلبد. با افزایش مستمر جمعیت جهان که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۲ میلیارد نفر برسد، فشار بر منابع طبیعی نیز بیشتر می‌شود. تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن، از دست دادن منابعی مانند آب‌و خاک و همچنین کاهش تنوع زیستی را به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه تشدید کرده است (Scavo *et al.*, 2022; Esmaali and Abdollahi, 2015). ایران نیز با شرایط اقلیمی عمدتاً خشک و نیمه‌خشک، دارای اکوسیستم‌هایی آسیب‌پذیر و ناپایدارتر در مقایسه با مناطق مرطوب است. از همین رو، حفاظت از منابع آب‌و خاک در این سرزمین از اهمیتی دوچندان برخوردار است (Saleh *et al.*, 2017). این حفاظت نه تنها به پایداری محیط‌زیست و اکوسیستم‌هایی مانند مراتع کمک می‌کند، بلکه برای تأمین نیازهای اساسی زندگی انسان‌ها نیز امری حیاتی به شمار می‌رود (Asaadi and Najafi Alamdarlo, 2023).

با توجه به اهمیت پوشش گیاهی در عملیات حفاظت از آب‌و خاک (Jafari Footani *et al.*, 2017)، نقش آن در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک غیرقابل‌انکار است (Jafari Footani *et al.*, 2017; Akbari and Rafiq, 2016; Heshmati and Kamali, 2011). از این رو، استقرار پوشش گیاهی مناسب و سازگار با شرایط هر منطقه، به عنوان راهکاری اساسی برای افزایش حاصلخیزی و پایداری خاک شناخته می‌شود.

از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی با پیامدهایی چون افزایش دما، تغییر الگوهای بارش، تشدید رویدادهای حدی مانند سیل و خشک‌سالی، تأثیرات گسترده‌ای بر منابع آب، خاک و پوشش گیاهی بر جای می‌گذارند. این تغییرات می‌توانند به فرسایش خاک، کاهش کیفیت منابع آبی و

اسپلاین (MARS: Multivariate Adaptive Regression Spline)، آن‌تروپی بیشینه (MaxEnt)، و جنگل‌های تصادفی (Maximum Entropy Random Forest) استفاده می‌شود (Pecchi *et al.*, 2018; Zellmer *et al.*, 2019; Wei *et al.*, 2019). برای کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها، رویکرد مدل‌سازی اجماعی به کار گرفته می‌شود که در آن چند مدل به صورت هم‌زمان برای پیش‌بینی یک نتیجه مورد استفاده قرار می‌گیرند و خروجی آن‌ها با یکدیگر تلفیق می‌شود تا نتیجه‌ای پایدارتر و قابل اعتمادتر حاصل شود (Kaky and Gilbert, 2020). این روش نوین، ابزاری کارآمد برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با عملیات حفاظت آب‌و‌خاک در شرایط کنونی و آینده را فراهم می‌کند. برای دستیابی به مدیریت بهینه این منابع، تلفیق پیش‌بینی‌های مدل‌های پراکنش گونه‌ای با نقشه‌های شاخص فشار انسانی ضروری است (Mu *et al.*, 2022) چرا که این یکپارچه‌سازی، دقت و اثربخشی شناسایی مناطق بحرانی را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد.

استان چهارمحال و بختیاری با ویژگی‌های جغرافیایی و توپوگرافی منحصر به فرد، از اقلیم‌های متنوعی برخوردار است. بارش‌های این منطقه عمدتاً تحت تأثیر سامانه‌های مدیترانه‌ای با نقش تعیین‌کننده رشته‌کوه زاگرس، از شدت بالایی برخوردارند. با توجه به حساسیت این استان به تغییرات اقلیمی، مدل‌سازی آینده‌نگر می‌تواند ابزاری مؤثر برای دستیابی به مدیریت پایدار اکوسیستم و حفظ تنوع زیستی آن باشد (Heydari Dastenaee, 2020). مساحت مراتع این استان حدود یک میلیون و ۵۰ هزار هکتار است که بخشی از آن به رویشگاه گونه بااهمیت چوبک بیابانی (*A. crassifolium* Boiss) اختصاص دارد (Arab Amiri and Mesgari, 2019). چوبک بیابانی، گیاهی بوته‌ای و چندساله از تیره میخک (Caryophyllaceae) است که عمدتاً بالشتکی با برگ‌های خاردار در مناطق استپی، نیمه‌استپی و

کوهستانی ایران می‌روید. این گونه به دلیل مقاومت بالا در برابر خشکی و توانایی رشد در خاک‌های فقیر، نقشی کلیدی در حفاظت از خاک، آب و پایداری تنوع زیستی ایفا می‌کند و از این رو، جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌های حفاظت و مدیریت منابع طبیعی دارد (Hadinejad *et al.*, 2020).

این پژوهش برنامه‌ریزی مدیریتی را در برابر تغییرات آینده با در نظر گرفتن سه سناریوی اقلیمی و دو مدل گردش عمومی با استفاده از روش‌های مدل‌سازی اجماعی فراهم می‌کند و نقشه‌های پراکنش کلیدی برای اولویت‌بندی مناطق حفاظت و اقدام‌های مدیریتی ارائه می‌دهد. به‌طور کلی، اهداف این پژوهش به چهار دسته ۱- تولید یک مدل اجماعی پراکنش چوبک بیابانی در شرایط فعلی با استفاده از ورودی‌های اقلیمی معتبر و Biomod2 برای استان چهارمحال و بختیاری، ۲- پیش‌بینی پراکنش این گونه در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تحت سه سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای SSP126، SSP370 و SSP585 با دو مدل گردش عمومی (GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0)، ۳- تولید نقشه‌های پراکنش و ارزیابی مناطق مستعد حفاظت و مدیریت در هر سناریو و سال برای هدایت تصمیم‌گیری‌های حفاظتی و ۴- ارزیابی عدم قطعیت و حساسیت مدل با تحلیل مقایسه خروجی‌ها آن تقسیم‌بندی شد.

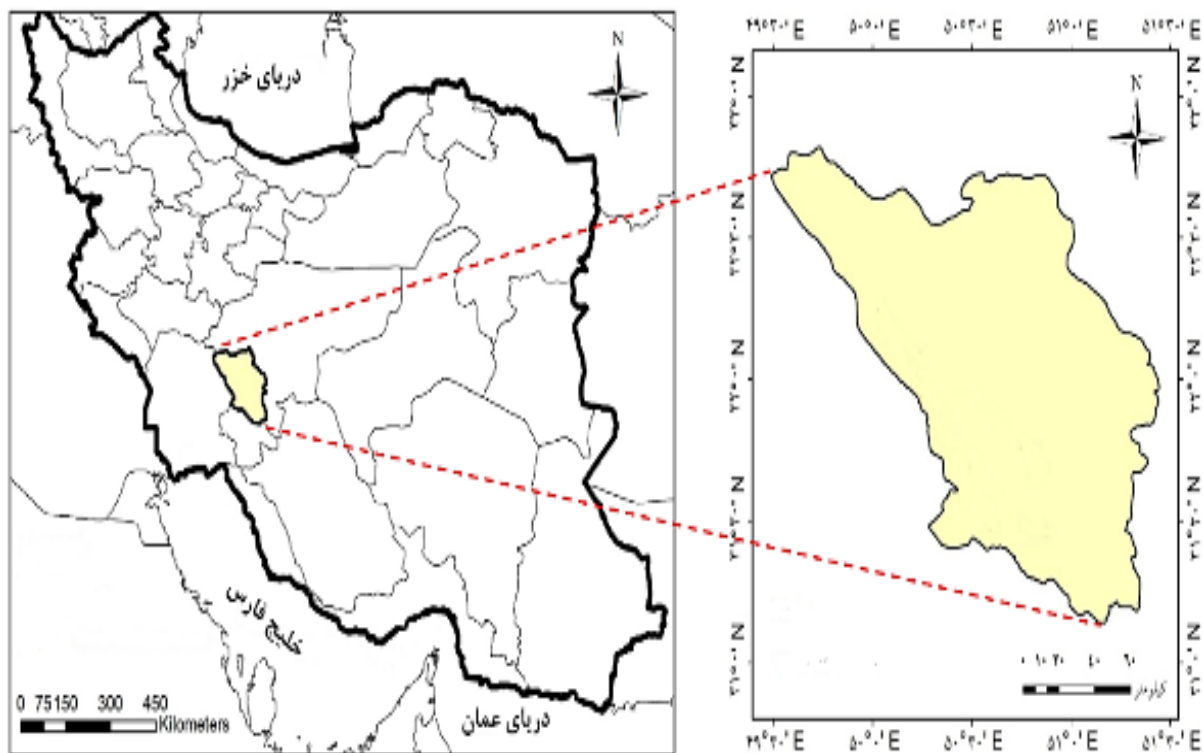
فرضیاتی که در این مطالعه مد نظر است، عبارتند از ۱- با افزایش گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای SSP126، SSP370 و SSP585 با استفاده از دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0 پراکنش چوبک بیابانی در استان چهارمحال و بختیاری به سمت مناطقی با ارتفاعات بالاتر تغییر می‌کند و مناطق مستعد حفاظت به سمت مناطقی با تراکم زیستی بیشتر سوق داده می‌شود. ۲- مدل MRI-ESM2-0 در مقایسه با مدل GFDL-ESM4 احتمالاً پیش‌بینی‌های محافظه‌کارانه‌تری از تغییرات پراکنش ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با گستره‌ای برابر با ۱۶/۴۲۱ کیلومترمربع منطقه‌ای کوهستانی در غرب ایران محسوب می‌شود و در ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد. میانگین ارتفاع در استان چهارمحال و بختیاری حدود ۲۱۵۳ متر است (Movahedi and Mosayyebi, 1996). به‌طور کلی، میانگین دمای سالانه در این استان در حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. تابستان‌های آن خنک و زمستان‌های آن سرد است. متوسط بارندگی سالانه در این استان حدود ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر است که بیشتر آن در فصل‌های پاییز و زمستان می‌بارد. این مقادیر می‌توانند بسته به ارتفاع و مکان جغرافیایی در استان متفاوت باشند. دما بین ۲۴- درجه سانتی‌گراد و ۴۶ درجه سانتی‌گراد در نوسان است (Heydari Dastenaeci, 2020; Arab Amiri and Mesgari, 2019).

این استان با پویایی اکولوژیکی پیچیده، رطوبت خاک زیرک و رژیم دمایی مزیک با تغییرات محیطی قابل توجه مشخص می‌شود. این استان شرایط اکولوژیکی متنوعی را به نمایش می‌گذارد و رشته‌کوه‌های زاگرس چشم‌انداز بی‌نظیری را ایجاد می‌کند. مطالعات خاک افق‌های کلسیک مشتق شده از آبرفت‌های آهکی را نشان می‌دهد که کربنات‌های پدوژنیک از ۵۲ تا ۹۶ درصد کل کربنات‌ها را تشکیل می‌دهد (Salehi *et al.*, 2004). پنج منطقه زیست‌اقلیمی متمایز را برای این استان شناسایی نمودند که دما، بارش و تابش به عنوان عوامل اصلی بیش از ۹۱ درصد از واریانس محیطی را توجیه می‌کند (Soltani *et al.*, 2011). از نظر اکولوژیکی، این منطقه تغییرات قابل توجهی در پوشش زمین در طی سال‌های ۱۹۹۴ الی ۲۰۱۵ از جمله کاهش ۳۶ درصدی مراتع، کاهش ۷ درصدی مناطق جنگلی و افزایش ۳۳ درصدی زمین‌های بایر را تجربه کرده است (Daneshmand Parsa *et al.*, 2017).



شکل ۱- نمایی از موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در کشور

Fig. 1 - View of the location of Chaharmahal va Bakhtiari province in the country

روش پژوهش

داده‌های حضور گونه

در این پژوهش از ۳۴ نقطه حضور گونه چوبک شامل ۲۰ نقطه حاصل از بازدید میدانی (با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی GPS) و ۱۴ نقطه از اطلاعات هرباریوم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. در فرآیند جمع‌آوری نقاط حضور، حداقل مساحت تحت اشغال گونه یک کیلومتر مربع در نظر گرفته شد و فاصله بین نقاط نمونه‌برداری حداقل یک کیلومتر بود (Teimoori et al., 2020). به منظور مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها، تعداد ۵۰۰ نقطه به‌عنوان نقاط عدم حضور به صورت تصادفی در منطقه مطالعه انتخاب شد.

متغیرهای محیطی

در این مطالعه، از ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی مرتبط با دما و بارش استفاده شد که برای سه بازه زمانی حال حاضر (۱۹۸۱-۲۰۱۰)، سال‌های ۲۰۵۰ (۲۰۴۰-۲۰۷۰) و ۲۰۸۰ (۲۰۷۱-۲۱۰۰) استخراج گردیدند. داده‌های مذکور از پایگاه اطلاعاتی CHELSA با تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه (معادل تقریباً یک کیلومتر مربع) تهیه شدند (Ghehsareh et al., 2025a). انتخاب پایگاه داده CHELSA به دلیل دقت بالای آن نسبت به سایر پایگاه‌های داده مشابه صورت گرفت (Rodríguez Rey and Jiménez, 2023). در فرآیند مدل‌سازی پراکنش گونه *crassifolium* در آینده، از دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0 تحت سه سناریوی انتشار مختلف SSP126، SSP370 و SSP585 استفاده شد. دلیل انتخاب این مدل‌های گردش عمومی، دسترسی مناسب به اطلاعات و کارایی بالای آن‌ها در ایران است (Abbasian et al., 2019). علاوه بر متغیرهای زیست‌اقلیمی، داده‌های فیزیوگرافی شامل نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، درصد شیب و جهت شیب نیز در تحلیل‌ها

مورد استفاده قرار گرفتند. این داده‌ها از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model =DEM) که از پایگاه CHLSA با دقت ۳۰ ثانیه استخراج شده است، تهیه شدند. برای بررسی همبستگی میان متغیرهای زیست‌اقلیمی و فیزیوگرافی، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد و متغیرهایی که همبستگی بالایی ($r < \pm 0.8$) با سایر متغیرها داشتند وارد مدل نشدند (Shaban et al., 2023). علاوه بر این، بر اساس مطالعات قبلی در استان، متغیرهای مورد استفاده نیز مد نظر قرار گرفت (Teimoori et al., 2017; Haidarian Aghakhani et al., 2020). به‌منظور پیش‌بینی پراکنش رویشگاه‌های مطلوب گونه چوبک بیابانی از بسته Biomod2 در محیط نرم‌افزاری R استفاده شد.

مدل‌سازی پراکنندگی رویشگاه‌ها

در این مطالعه از ۷ متغیر شامل متغیر میانگین دامنه دمای روزانه (bio2)، فصلی بودن دمای روزانه هوا (bio4)، مجموع بارندگی سالانه (bio12)، میانگین بارندگی ماهانه مرطوب‌ترین فصل (bio16)، میانگین بارندگی ماهانه سردترین فصل (bio19)، شیب و جهت به عنوان عوامل پیش‌بینی کننده همراه با ۱۰ الگوریتم شامل الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، افزایشی تعمیم‌یافته (GBM: Generalized Boosted Model)، خطی تعمیم‌یافته (GLM: Generalized Linear Model)، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (FDA: Flexible Discriminate Analysis)، جنگل تصادفی، رگرسیون چند متغیره تطبیقی (GAM: Generalized Additive Model)، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی (CART: Classification And Regression Tree)، رگرسیون تطبیقی اسپلاین چندگانه، آنتروپی بیشینه و پاکت محدوده سطح (SRE: Surface Range Envelope) استفاده شد. همچنین، به‌منظور کاهش اثرات ناشی از عدم قطعیت داده‌ها و تضمین دقت بیشتر، هر الگوریتم ۳ مرتبه به صورت تصادفی تکرار شد.

در این مطالعه رویشگاه‌ها به ۵ طبقه تقسیم‌بندی شدند که در آن به ترتیب، رویشگاه عالی (۰/۸~۱)، رویشگاه خوب (۰/۶~۰/۸)، رویشگاه متوسط (۰/۴~۰/۶)، رویشگاه ضعیف (۰/۲~۰/۴) و رویشگاه نامطلوب (۰/۰~۰/۲) در نظر گرفته شده است.

ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها، داده‌های حضور گونه به صورت تصادفی به دو مجموعه تقسیم شدند که ۸۰ درصد برای آموزش مدل و ۲۰ درصد برای ارزیابی مدل هستند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها، از سه شاخص مهم شامل شاخص حساسیت-اختصاصیت (TSS) (در بازه -۱ تا +۱)، مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد (ROC) (در بازه صفر تا ۱) و Kappa (در بازه صفر تا ۱) استفاده شد. شاخص ROC به طور خاص برای طبقه‌بندی رویشگاه‌ها به کار گرفته شد. همچنین، شاخص TSS به عنوان معیاری قابل اعتماد برای تفسیر پدیده‌های واقعی در مطالعات مرتبط معرفی شده است (Guisan et al., 2017). این شاخص‌ها در کنار هم، دیدگاه جامعی نسبت به کارایی مدل‌ها در پیش‌بینی دقیق پراکنش گونه‌ها ارائه می‌دهند.

ادغام نقشه‌های پیش‌بینی پراکنندگی رویشگاه‌ها و شاخص فشار انسانی

در این مطالعه، به منظور بررسی اثرات ناشی از فشار انسانی، از نقشه فشار تجمعی ارائه شده (Mu et al., 2022) استفاده گردید. این نقشه، اطلاعات سالیانه مربوط به ردپای انسانی در سطح جهان تا سال ۲۰۱۸ را شامل می‌شود و بر مبنای متغیرهای مرتبط با محیط‌های ساخته شده نظیر اراضی کشاورزی، تراکم جمعیت، مراتع، جاده‌ها و راه‌آهن تهیه شده است. در گام بعد، نقشه فشار تجمعی انسانی با خروجی مدل پراکنش گونه‌ای ادغام شد تا مناطق رویشگاه‌ها با سطح مطلوب شناسایی گردد. برای این منظور تنها سلول‌های شبکه‌ای انتخاب شدند که از

نظر اقلیمی دارای تناسب رویشگاهی مطلوب و کم‌فشار بودند (Sofi et al., 2023). هدف از این کار شناسایی مناطق کم‌فشار انسانی و شرایط آب و هوایی مناسب برای حفاظت از این گونه ارزشمند و احیای رویشگاه‌های آن است.

نتیجه این فرآیند منجر به تولید یک نقشه دیجیتالی جدید با اولویت حفاظتی بالا گردید که می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریتی در اکوسیستم‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Mu et al., 2022).

نقشه‌های فشار انسانی دارای مقیاس ۱ تا ۵۰ می‌باشند که در آن ردپای انسان >۱۶ نشان‌دهنده مناطق وحشی ست که ناحیه بکر یا بدون دخالت انسان در نظر گرفته می‌شود، ردپای انسانی ۴-۱ منطقه دست‌نخورده یا مناطق تغییر یافته توسط انسان و ردپای انسانی ≤ 4 منطقه بسیار تغییر یافته توسط انسان است (Mu et al., 2022). در این مطالعه برای بررسی دقیق تر نقشه فشار انسانی مناطق ۴-۵۰، به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد که عبارتند از (۱) ۴-۱۰، (۲) ۱۰-۲۰، (۳) ۲۰-۳۰، (۴) ۳۰-۴۰ و (۵) ۴۰-۵۰ هستند.

نتایج و بحث

از میان ۲۱ متغیر زیست‌اقلیمی و فیزیوگرافی، ۷ متغیر (۵) زیست‌اقلیمی و ۲ فیزیوگرافی به عنوان متغیرهای مستقل و کلیدی انتخاب شدند. انتخاب این متغیرها بر اساس کاهش افزونگی، حفظ تنوع اطلاعاتی و تأثیرگذاری آن‌ها بر نتایج مدل صورت گرفته است.

در این پژوهش، از ۱۰ الگوریتم تنها ۹ الگوریتم شامل الگوریتم‌های GAM، CTA، FDA، GBM، GLM، MARS، RF، SRE و MAXENT با کارایی بالا برای استفاده در مدل اجماعی انتخاب شدند. Guo et al. (2019) برتری و قابلیت بالای الگوریتم‌های مذکور را در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در پیش‌بینی توزیع گونه‌های

مورد بررسی تأیید کرده‌اند. Lawrence and Labus (2003)، Haidarian Aghakhani *et al.* (2017)، Abdollahi *et al.* (2019)، Ravindra (2019) و Moawed *et al.* (2024)، مطالعات متعددی در مورد مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها با الگوریتم‌های مذکور انجام داده‌اند و کارایی بالای برخی از این الگوریتم‌ها را تأیید نموده‌اند.

ارزیابی مدل

در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی چوبک بیابانی نتایج مقادیر به‌دست‌آمده از میانگین شاخص‌ها در نه الگوریتم مورد استفاده در مدل‌سازی به ترتیب شامل ROC با $0/06 \pm$ ، TSS با $0/09 \pm$ ، KAPPA با $0/14 \pm$ و $0/33 \pm$ می‌باشد. این مقادیر نشان‌دهنده عملکرد خوب تا قابل قبول مدل‌ها در پیش‌بینی پراکنش گونه چوبک بیابانی است. در شاخص ROC، بیشترین میانگین الگوریتم‌های GBM و RF به ترتیب $0/85$ و $0/84$ ، در شاخص TSS الگوریتم‌های RF و GBM به ترتیب $0/68$ و $0/67$ و در شاخص KAPPA

الگوریتم‌های RF و GBM به ترتیب $0/56$ و $0/40$ را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل، الگوریتم CTA با کمترین میانگین شاخص‌های ROC ($0/16 \pm$)، TSS ($0/26 \pm$) و KAPPA ($0/10 \pm$) عملکرد ضعیف‌تری را نشان داد که اعتبار کمتری برای پیش‌بینی پراکنش این گونه دارد. علاوه بر این، نتایج مقادیر این سه شاخص ارزیابی در مدل اجماعی پراکنش این گونه به ترتیب شامل $0/99$ برای شاخص‌های ROC و TSS و $0/98$ برای شاخص KAPPA می‌باشد. این مقادیر، عملکرد عالی مدل اجماعی را تأیید می‌کند. به‌طور کلی مدل‌های اجماعی ارزشمند هستند و اثربخشی آن‌ها به ویژگی‌های گونه و محدوده محیطی آن بستگی دارد (Grenouillet *et al.*, 2011; Hao *et al.*, 2020; Ghehsareh Ardestani *et al.*, 2025b). این نتایج حاکی از آن است که مدل‌های ترکیبی نظیر مدل اجماعی و الگوریتم‌های پیشرفته‌ای همچون روش GBM و RF دقت و کارایی بالاتری در پیش‌بینی پراکنش این گونه ارائه می‌دهند (جدول ۱).

جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی الگوریتم‌ها
Table 1 – Evaluation indices of algorithms

GLM	GAM	GBM	RF	SRE	CTA	FDA	MARS	MAXENT	Algorithm
0/81	0/74	0/85	0/84	0/73	0/68	0/79	0/77	0/81	ROC
$\pm 0/07$	$\pm 0/18$	$\pm 0/11$	$\pm 0/15$	$\pm 0/08$	$\pm 0/16$	$\pm 0/06$	$\pm 0/15$	$\pm 0/07$	
0/59	0/53	0/67	0/68	0/47	0/39	0/52	0/54	0/56	TSS
$\pm 0/11$	$\pm 0/33$	$\pm 0/20$	$\pm 0/28$	$\pm 0/15$	$\pm 0/26$	$\pm 0/09$	$\pm 0/17$	$\pm 0/05$	
0/34	0/34	0/40	0/56	0/19	0/14	0/31	0/34	0/33	KAPPA
$\pm 0/13$	$\pm 0/21$	$\pm 0/22$	$\pm 0/31$	$\pm 0/07$	$\pm 0/10$	$\pm 0/06$	$\pm 0/12$	$\pm 0/06$	

پیش‌بینی حال حاضر پراکنش رویشگاه‌ها

پیش‌بینی پراکنش مطلوب گونه چوبک بیابانی در شرایط کنونی نشان داد که رویشگاه‌های عالی و خوب به ترتیب $0/91$ و $0/33$ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه را

شامل می‌شوند. این مقادیر معادل مساحتی حدود $149/8$ کیلومتر مربع برای رویشگاه‌های عالی و $346/1$ کیلومتر مربع برای رویشگاه‌های خوب بوده و در مجموع $1/25$ درصد از کل منطقه را در بر می‌گیرند. تحلیل توزیع مکانی این

رویشگاه‌ها نشان داد که بخش عمده رویشگاه‌های عالی و خوب این گونه در شمال شرقی، شرق و اندکی جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری قرار دارند (شکل ۲). این نتایج بیانگر وجود پتانسیل رویشگاهی بالا برای گونه چوبک بیابانی در این نواحی و تأکید بر اهمیت این مناطق در مدیریت و حفاظت از رویشگاه‌های طبیعی این گونه است. (Asadzadeh *et al.* (2024) گونه‌های گیاهی مرتعی در شرق استان چهارمحال و بختیاری انجام دادند. نتایج نشان داد اکثر مناطق اولویت‌دار برای حفاظت گونه‌های گیاهی در نیمه شرقی استان، از شمال به جنوب، قرار دارند در نتیجه یافته‌های این مطالعه

با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

عوامل محیطی مؤثر بر پیش‌بینی پراکندگی رویشگاه‌ها

نتایج مدل‌سازی نشان داد که میانگین بارندگی ماهانه سردترین فصل، فصلی بودن دما و میانگین بارندگی ماهانه مرطوب‌ترین فصل به ترتیب قادر به توضیح تقریباً ۳۱/۱۵، ۱۵/۷۸، ۱۳/۱۱ درصد از تغییرات پیش‌بینی پراکنش گونه چوبک بیابانی را داشته باشد و مجموعاً ۶۰/۷۴ درصد از تغییرات پراکنش این گونه را تبیین کردند. در مقابل، متغیر جهت کمترین سهم را در پیش‌بینی پراکنش این گونه داشت (جدول ۲).

جدول ۲- اهمیت نسبی متغیرها برای پیش‌بینی پراکنش گونه چوبک بیابانی
Table 2- Relative importance of variables for predicting the distribution of *A. crassifolium*

اهمیت نسبی	متغیرهای محیطی	علامت اختصاری
۳۱/۱۵	میانگین بارندگی ماهانه سردترین فصل Mean monthly precipitation amount of the coldest quarter	Bio19
۱۵/۷۸	فصلی بودن دما Temperature seasonality	Bio4
۱۳/۱۱	میانگین بارندگی ماهانه مرطوب‌ترین فصل Mean monthly precipitation amount of the wettest quarter	Bio16
۱۲/۲۸	میانگین دامنه دمای روزانه هوا Mean diurnal air temperature range	Bio2
۱۱/۸۰	شیب	Slope
۱۰/۰۹	مجموع بارندگی سالیانه Annual precipitation amount	Bio12
۵/۷۲	جهت	Aspect

این نتایج حاکی از آن است که عوامل مرتبط با نوسانات میانگین دماهای ماهانه و بارندگی در تعیین پراکنش این گونه نسبت به دیگر عوامل تأثیرگذارتر هستند. Ebrahimi (2019) Gajoti *et al.* دریافتند گونه ممرز (*Carpinus betulus*) با عوامل اکولوژیکی مختلف از جمله شیب، دما، پارامترهای اقلیمی و توپوگرافی ارتباط مثبت و مستقیم دارد. درعین‌حال، گونه ممرز ارتباط منفی و معکوسی با عواملی همچون ارتفاع از سطح دریا نشان داده است. (Khalatbari Limaki *et al.* (2023) به نتایج مشابهی در مورد اثرات عوامل محیطی بر پراکنش گونه‌های گیاهی

دست یافته‌اند. (Teimoori *et al.* (2020) به مهم‌ترین متغیرها شامل شاخص‌های هم‌دمایی، دمای فصل با بیشترین بارش و مجموع بارندگی سالیانه بر روی پراکنش گون زرد (*Astragalus verus*) اشاره نمودند.

پیش‌بینی آینده پراکندگی رویشگاه‌ها

بررسی تغییرات مطلوبیت رویشگاه‌های گونه چوبک بیابانی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. در شکل ۲، نقشه‌های تغییرات مطلوبیت رویشگاه‌های این گونه مطابق با گردش عمومی GFDL-ESM4 تحت سه سناریوی

اقلیمی SSP126، SSP370 و SSP585 نشان داده شده است. این شکل علاوه بر نقشه‌های پیش‌بینی رویشگاه‌های چوبک بیابانی در دوره‌های حال حاضر و آینده، شامل یک نمودار ستونی برای مقایسه سطح پنج طبقه رویشگاه‌های این گونه در این دو دوره است.

نقشه‌های پیش‌بینی، پراکندگی رویشگاه‌های عالی تا خوب ($Habitat\ suitability > 0.6$) این گونه را در شمال شرقی، شرق و جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهند. مقایسه سطح پنج طبقه از رویشگاه‌های چوبک بیابانی (عالی، خوب، متوسط، ضعیف و نامطلوب) در وضعیت حال حاضر و آینده نشان می‌دهد که سطح مطلوبیت رویشگاه‌های عالی ($Habitat\ suitability > 0.8$) در مقایسه با شرایط فعلی، کاهش قابل توجهی را تجربه می‌کند. این کاهش بین ۱۵/۴۸- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) تا ۵۳/۸۰- درصد (SSP126، ۲۰۵۰) متغیر است. تنها استثنا، سناریوی SSP126 در بازه زمانی ۲۰۸۰ است که ۱۶/۱۵ درصد افزایش را نشان داد (شکل ۲).

سطح مطلوبیت رویشگاه‌های خوب ($Habitat\ suitability < 0.8$) بین ۲۲/۹۱ تا ۲۰۵۰ (SSP126، ۲۰۵۰) تا ۲۰۶/۹۳ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) افزایش یافت (شکل ۲). سطح مطلوبیت رویشگاه‌های متوسط ($Habitat\ suitability < 0.6$) در مقایسه با شرایط فعلی بین ۴۶/۶۰ تا ۲۱۲/۰۹ درصد (SSP585، ۲۰۵۰) و ۲۰۸۰ گسترش یافت. سطح مطلوبیت رویشگاه‌های ضعیف ($Habitat\ suitability < 0.4$) نیز در سناریوهای اقلیمی بین ۲۹/۸۲ درصد (SSP370، ۲۰۵۰) تا ۲۷۱/۴۳ درصد (SSP126، ۲۰۵۰) افزایش یافت. سطح رویشگاه‌های نامطلوب ($Habitat\ suitability < 0.2$) در مقایسه با شرایط فعلی، در سناریوها بین ۹/۸۴- درصد (SSP370، ۲۰۵۰) تا ۲۹/۵۵- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) کاهش یافت (شکل ۲)؛ بنابراین سطح مطلوبیت رویشگاه‌های عالی این گونه در آینده با کاهش زیادی روبه‌رو خواهد بود.

در شکل ۳، نقشه‌های تغییرات مطلوبیت رویشگاه‌های این گونه مطابق با گردش عمومی MRI-ESM2-0 تحت سه سناریوی اقلیمی SSP126، SSP370 و SSP585 نشان داده شده است. این شکل علاوه بر نقشه‌های پیش‌بینی رویشگاه‌های چوبک بیابانی در دوره‌های حال حاضر و آینده، شامل یک نمودار ستونی برای مقایسه سطح پنج طبقه رویشگاه‌های این گونه در این دو دوره است.

نقشه‌های پیش‌بینی، پراکندگی رویشگاه‌های عالی تا خوب ($Habitat\ suitability > 0.6$) این گونه را در شمال شرقی، شرق و جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهند. مقایسه سطح پنج طبقه از رویشگاه‌های چوبک بیابانی (عالی، خوب، متوسط، ضعیف و نامطلوب) در وضعیت حال حاضر و آینده نشان می‌دهد که سطح مطلوبیت رویشگاه‌های عالی ($Habitat\ suitability > 0.8$) در مقایسه با شرایط فعلی، کاهش قابل توجهی را تجربه می‌کند. این کاهش بین ۹/۵۰- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) تا ۷۱/۱۸- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) متغیر است. تنها استثنا سناریوی SSP370 در بازه زمانی ۲۰۸۰ و ۲۰۵۰ است که ۳۴/۹۱ و ۲۴/۸۹ درصد افزایش را نشان داد (شکل ۳).

مساحت رویشگاه‌های خوب ($Habitat\ suitability < 0.8$) نیز در مقایسه با توزیع فعلی افزایش می‌یابد. این افزایش در مورد SSP370 در دوره زمانی ۲۰۸۰ و SSP585 در بازه زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ است که به ترتیب ۷۴/۰۸، ۹/۴۳ و ۷۷/۰۸ درصد افزایش را نشان داد. در حالی که در SSP126 در دوره زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ و SSP370 در دوره زمانی ۲۰۵۰ به ترتیب ۴۲/۲۴-، ۴۰/۸۸- و ۲/۵۰- کاهش را نشان داد (شکل ۳). برای رویشگاه‌های متوسط ($Habitat\ suitability < 0.6$) افزایش سطح مطلوبیت در مقایسه با وضعیت فعلی بین ۴۳/۹۱ درصد (SSP370، ۲۰۵۰) تا ۲۶۴/۵۴ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) را نشان داد. در حالی که در SSP126

در دوره زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بین ۲/۰۲- درصد و ۳/۳۰- درصد روند کاهشی داشت (شکل ۳).

همچنین، رویشگاه‌های ضعیف ($Habitat < 0/4$) در مقایسه با توزیع فعلی افزایش چشمگیری را تجربه کردند. این افزایش بین ۴۰/۲۲ درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۳۳۷/۳۴ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) متغیر بود (شکل ۳). درنهایت، رویشگاه‌های نامطلوب ($Habitat suitability < 0/2$) در مقایسه با توزیع فعلی کاهش می‌یابند. این کاهش بین ۱/۸۴- درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۳۸/۸۰- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) مشاهده شد (شکل ۳)؛ بنابراین سطح مطلوبیت رویشگاه‌های عالی این گونه در آینده با کاهش قابل‌ملاحظه‌ای روبه‌رو خواهد بود.

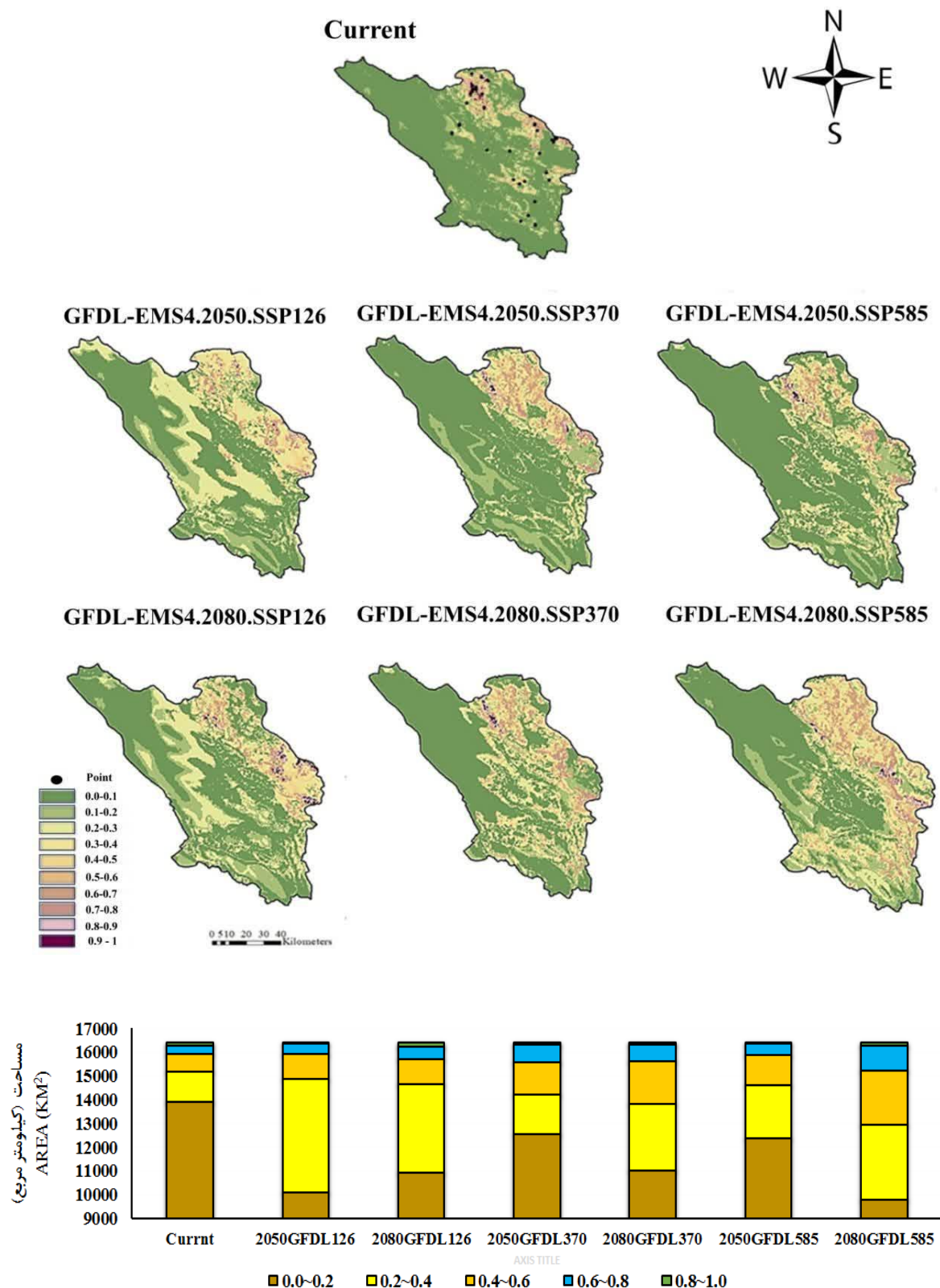
Atashgahi et al. (2025) به بررسی پاسخ‌های دو گونه *Acanthophyllum adenophorum* Freyn و *Acanthophyllum speciosum* Rech.f. & Schiman و Czeika در منطقه کپه داغ استان خراسان پرداختند. ایشان اظهار داشتند که رویشگاه‌های مطلوب این دو گونه در آینده کاهش خواهد یافت که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص کاهش رویشگاه‌های عالی چوبک بیابانی در آینده با نتایج Ghehsareh Ardestani and Heidari Ghahfarrokhi (2021) بر روی گونه *Salvia hydrangea* و Khajoei (2024) Nasab and Zeraatkar بر روی گونه *Tetrataenium lasiopetalum* در استان چهارمحال و بختیاری تطابق دارد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تأثیرات معنادار تغییرات اقلیمی بر پراکنش رویشگاه‌های گونه چوبک بیابانی در آینده است که می‌تواند برای مدیریت و برنامه‌ریزی حفاظت از این گونه مفید باشد.

یافته‌های حاصل از پیش‌بینی‌های اقلیمی تحت مدل GFDL-ESM4 در سناریوهای مختلف نشان می‌دهند که در افق‌های زمانی مختلف، بین ۸۱/۹۰ درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۹۸/۶۴ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) از سطح

رویشگاه‌های فعلی این گونه به‌واسطه تغییرات اقلیمی کاهش خواهد یافت (جدول ۳). درعین‌حال، در بازه زمانی ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰، در سناریو SSP126، در سال ۲۰۵۰ به ۳۶/۶۵ درصد تا SSP126 در سال ۲۰۸۰ به ۹۷/۲۸ درصد، رویشگاه‌های نامطلوب به رویشگاه‌های مطلوب تبدیل خواهند شد. به‌طورکلی، نرخ تغییرات خالص وسعت رویشگاه‌های مطلوب گونه چوبک بیابانی نسبت به وضعیت فعلی در آینده، در بازه زمانی ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰، به‌طور متوسط بین ۱۵/۳۸ درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۵۴/۲۹- درصد (SSP126، ۲۰۵۰) برآورد گردید (جدول ۳).

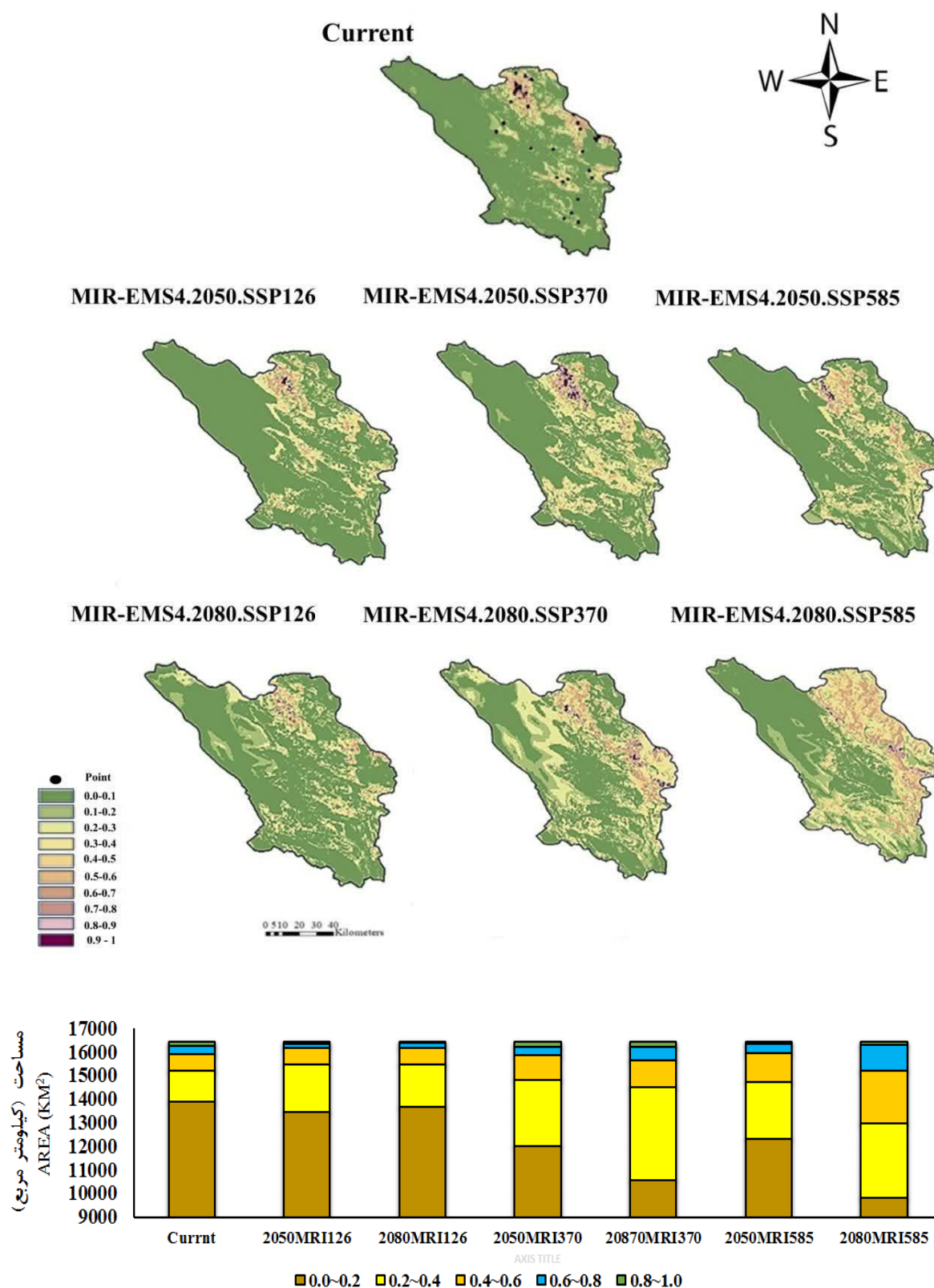
یافته‌های حاصل از پیش‌بینی‌های اقلیمی تحت مدل MRI-ESM2-0 در سناریوهای مختلف انتشار نشان می‌دهند که بین ۶۳/۸۰ درصد (SSP370، ۲۰۵۰) تا ۹۹/۵۴ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) از رویشگاه‌های مطلوب فعلی گونه چوبک بیابانی به‌واسطه تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن از بین خواهد رفت. همچنین، در دوره زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، بین ۱۶/۲۹ درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۱۰۴/۵۲ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) از رویشگاه‌های نامطلوب اقلیمی به رویشگاه‌های مطلوب برای این گونه تبدیل خواهند شد؛ بنابراین، نرخ تغییرات خالص از بین رفتن رویشگاه‌های مطلوب فعلی و تبدیل آن به رویشگاه‌های مطلوب در آینده، برای این گونه، در بازه زمانی ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰ بین ۲۱/۲۶ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) و ۶۸/۳۲- درصد (SSP126، ۲۰۸۰) متغیر خواهد بود (جدول ۳).

پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که در آینده، رویشگاه‌های مناسب گونه چوبک بیابانی به‌طورکلی کوچک‌تر خواهند شد. Ghehsareh Ardestani and Heidari Ghahfarrokhi (2021) و Khodaghali et al. (2023) در خصوص اثرات تغییر اقلیم بر روی پراکنش گونه‌های *Salvia hydrangea* و *Bromus tomentellus* دریافتند که پراکنش این گونه‌ها روند کاهشی خواهد داشت و این نتایج با پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل ۲- توزیع رویشگاه‌های گونه چوبک بیابانی بر اساس شبیه‌سازی مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 تحت سه سناریوی اقلیمی SSP126 و SSP370 و SSP585

Fig. 2- Distribution of habitats for *A. crassifolium* based on the simulation of the GFDL-ESM4 general circulation model under three climate scenarios SSP126, SSP370, and SSP585



شکل ۳- وسعت رویشگاه‌های مطلوب برای گونه چوبک بیابانی بر اساس شبیه‌سازی مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0 تحت سه سناریوی اقلیمی SSP126، SSP370، SSP585

Fig. 3- Distribution of suitable habitats for *A. crassifolium* based on the simulation of the MRI-ESM2-0 general circulation model under three climate scenarios SSP126, SSP370, and SSP585)

جدول ۳- تغییرات سطح رویشگاه‌های مناسب برای گونه چوبک بیابانی بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی مدل‌های GFDL-ESM4 و MIR-ESM2-0 برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، تحت سناریوهای اقلیمی SSP126، SSP370 و SSP585.

Table 3- Changes in the area of suitable habitats for *A. crassifolium* based on climate projections of the GFDL-ESM4 and MIR-ESM2-0 models for the years 2050 and 2080, under the SSP126, SSP370, and SSP585 climate scenarios.

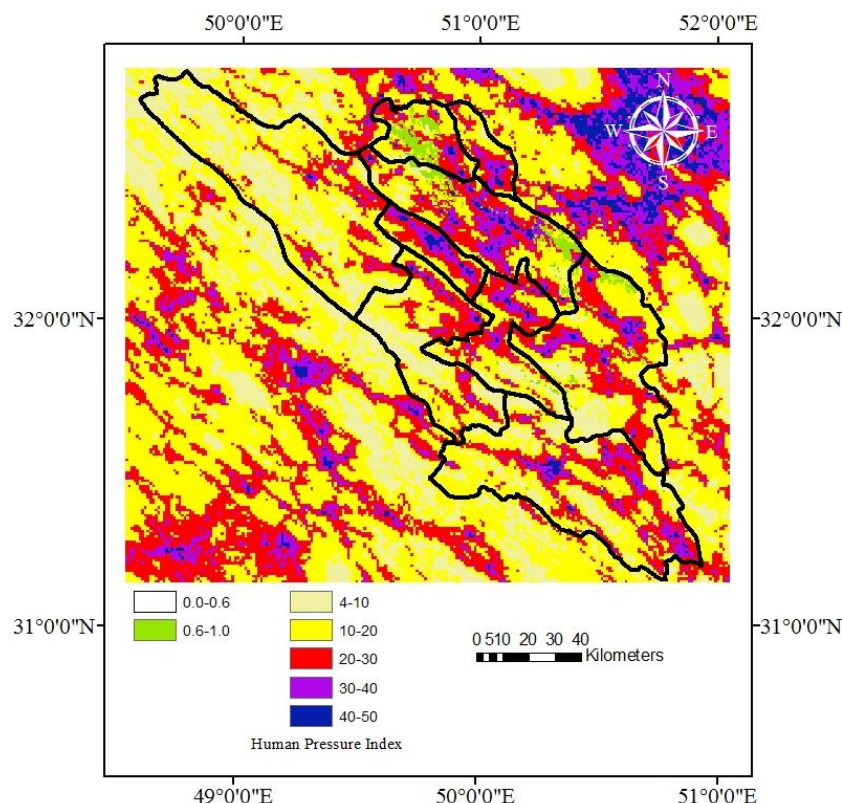
تغییرات در سطح رویشگاه (درصد) Net change (%)	رویشگاه جدید (درصد) Habitat gain (%)	رویشگاه از دست رفته (درصد) Habitat loss (%)	غیاب پایدار (کیلومتر مربع) Stable absence (Km ²)	حضور پایدار (کیلومتر مربع) Stable presence (Km ²)	سناریو Scenario	گردش عمومی هوا General Circulation Model
GFDL-ESM4						
-۵۱/۱۳۱	۳۶/۶۵۲	۸۷/۷۸۳	۲۷	۲۲۳۰۰	SSP126	۲۰۵۰
-۳۳/۴۸۴	۵۵/۲۰۴	۸۸/۶۸۸	۲۵	۲۲۲۵۹	SSP370	
-۵۴/۲۹۹	۴۲/۰۸۱	۹۶/۳۸۰	۸	۲۲۲۸۸	SSP585	
۱۵/۳۸۵	۹۷/۲۸۵	۸۱/۹۰۰	۴۰	۲۲۱۶۶	SSP126	۲۰۸۰
-۳۵/۲۹۴	۶۳/۳۴۸	۹۸/۶۴۳	۳	۲۲۲۴۱	SSP370	
-۱۳/۵۷۵	۸۴/۱۶۳	۹۷/۷۳۸	۵	۲۲۱۹۵	SSP585	
MRI-ESM2-0						
-۵۹/۲۷۶	۲۴/۸۸۷	۸۴/۱۶۳	۳۵	۲۲۳۲۶	SSP126	۲۰۵۰
۳۰/۷۶۹	۹۴/۵۷۰	۶۳/۸۰۱	۸۰	۲۲۱۷۲	SSP370	
-۵۱/۱۳۱	۴۷/۰۵۹	۹۸/۱۹۰	۴	۲۲۲۷۷	SSP585	
-۶۸/۳۲۶	۱۶/۲۹۰	۸۴/۶۱۵	۳۴	۲۲۳۴۵	SSP126	۲۰۸۰
۲۱/۲۶۷	۱۰۴/۵۲۵	۸۳/۲۵۸	۳۷	۲۲۱۵۰	SSP370	
-۳۳/۰۳۲	۶۶/۵۱۶	۹۹/۵۴۸	۱	۲۲۲۳۴	SSP585	

تعیین رویشگاه‌های دارای اولویت حفاظت

در شکل ۴ ادغام نقشه شاخص فشار انسانی (دارای ۵ طبقه) با نقشه رویشگاه‌های عالی و خوب ($Habitat > 0.6$) (sustainability) گونه چوبک بیابانی ارائه شده است. این تحلیل نشان‌دهنده این است که اکثر مناطقی که برای این گونه مناسب هستند و بالاترین مطلوبیت رویشگاه‌ها را دارند، در سطوح بالای فشار انسانی در طبقه ۲۰-۱۰ (نشان داده شده به رنگ زرد در شکل ۴) قرار گرفته‌اند. منطقه رنگ زرد نشان‌دهنده مناطق حیاتی و دارای اولویت بالا است که برای حفاظت از گونه چوبک بیابانی در منطقه مورد مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شاخص فشار انسانی و مدل‌های پراکنش گونه‌ای در رابطه با گونه چوبک بیابانی نشان‌دهنده زنگ هشدار برای حفاظت و احیای این گونه ارزشمند است. این مناطق به عنوان اولویت‌های حفاظتی شناخته شده‌اند و لازم است در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و استراتژی‌های حفاظت، به‌طور خاص مورد توجه قرار گیرند تا اثرات منفی فشارهای انسانی کاهش یافته و شرایط

مطلوب برای بقای این گونه ارزشمند فراهم آید (Mu et al., 2022).

ادغام نقشه‌های پیش‌بینی توزیع زیستگاه با شاخص فشار انسانی، بینش‌های حفاظتی قابل توجهی را آشکار می‌کند و نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی به طور قابل توجهی بر مناسب بودن رویشگاه و اولویت‌های حفاظتی تأثیر می‌گذارند. (Sofi et al., 2023) نشان دادند با حذف مناطق تحت تأثیر فشار بالای انسانی از رویشگاه‌های مناسب پیش‌بینی‌شده *Arnebia euchroma*، ۷۰ درصد از مناطق مناسب را که نیاز به توجه ویژه حفاظتی دارند، شناسایی کردند. تنها ۳/۰۸ درصد از منطقه مورد مطالعه «رویشگاه بسیار مناسب» است و سناریوهای اقلیمی آینده از دست رفتن بیشتر این رویشگاه‌ها را پیش‌بینی می‌کنند. محققان می‌توانند با ادغام شاخص‌های فشار انسانی با مدل‌های توزیع گونه تلاش‌های حفاظتی را با دقت بیشتری اولویت‌بندی کرده و آسیب‌پذیری‌های بالقوه اکولوژیکی را درک کنند (Godínez-Gómez et al., 2020).



شکل ۴- ادغام نقشه رویشگاه‌های با کیفیت عالی و خوب گونه چوبک بیابانی با نقشه شاخص فشار انسانی
Fig. 4- Integration of the high-quality and good-quality habitat maps for *A. crassifolium* with the map of the Human Pressure Index

نتیجه‌گیری

گونه چوبک بیابانی، به‌عنوان یکی از گونه‌های مهم در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک نقش کلیدی در مدیریت و پایداری رویشگاه‌های خودش از لحاظ حفاظت آب‌و‌خاک ایفا می‌کند (Maleki *et al.*, 2017; Meratan *et al.*, 2008). این گونه با رویشگاه‌های خاص و پراکنش محدود تحت تأثیر شدید تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی در معرض خطر کاهش جمعیت و انقراض قرار گرفته است. (Pirani *et al.*, 2014), (Maleki *et al.*, 2017) و (Khayitov *et al.*, 2021) بیان داشتند که گونه‌های این جنس رویشگاه‌های بسیار محدودی دارند و به‌طوری‌که یک گونه فقط در یک منطقه خاص از ایران رشد می‌کند. یافته‌های تحقیق بر ضرورت برنامه‌ریزی جامع برای شناسایی و حفاظت از رویشگاه‌های مناسب این گونه تأکید دارد. گونه چوبک بیابانی با حفظ و افزایش این گونه گیاهی اقداماتی مانند جلوگیری از فرسایش بادی و آبی، افزایش

یک رویکرد جامع و چندوجهی برای حفاظت بلندمدت از اکوسیستم‌های کوهستانی ضروری است و بر مدیریت یکپارچه مدیریت منابع طبیعی، مشارکت جامعه محلی و حفاظت هدفمند از گونه‌ها تأکید دارد. فعالیت‌های حفاظت آب‌و‌خاک می‌تواند پایداری مناطق روستایی را در این اکوسیستم‌ها به طور قابل توجهی بهبود بخشد (Khorasani *et al.*, 2021). یک رویکرد مدیریت اکوسیستم محور توصیه می‌شود که ویژگی‌ها و پتانسیل خدمات منحصربه‌فرد هر اکوسیستم را شناسایی کند. این رویکرد شامل درک ظرفیت‌های اکولوژیکی محلی، محدود کردن فعالیت‌های مخرب و اولویت دادن به حفاظت بر منافع اقتصادی کوتاه‌مدت است. با اجرای چنین برنامه‌های حفاظتی جامع، اکوسیستم‌های کوهستانی می‌توانند به پایداری بلندمدت دست یابند و به عنوان الگوهایی برای حفاظت از سایر مناطق اکولوژیکی آسیب‌پذیر عمل کنند (Jalili, 2020).

پوشش گیاهی و جلوگیری از هدر رفت خاک و آب، می‌توانند نقش بسزایی در تثبیت رویشگاه‌های خود داشته باشد.

این مطالعه همچنین بر اهمیت استفاده از مدل‌سازی رویشگاه به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای شناسایی مناطق ایده‌آل جهت حفاظت و احیا گونه‌های ارزشمند تأکید دارد. (Sofaer *et al.* (2019) و Shyvers *et al.* (2024) نشان می‌دهند که مدل‌های توزیع گونه‌ها می‌توانند اطلاعات معتبر و تکرارپذیری را برای تصمیمات حفاظتی تولید کنند و با استفاده از مدل‌های مناسب بودن رویشگاه در مقایسه با رویکردهای بدون راهنما، مناسب بودن رویشگاه را تقریباً چهار برابر بهبود بخشیده و ایجاد رویشگاه جدید را بیش از ۱۵ برابر افزایش داده است. این ابزار می‌تواند به شناسایی مناطقی که در آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار

خواهند گرفت، کمک کرده و اطلاعات مفیدی برای برنامه‌ریزی اقدامات حفاظتی ارائه دهد. برای دستیابی به حفاظت طولانی‌مدت و احیای اکوسیستم‌های کوهستانی، باید رویکردی جامع، اتخاذ شود که شامل حفاظت خاک و آب، مدیریت یکپارچه منابع طبیعی، مشارکت جوامع محلی و افزایش آگاهی عمومی باشد. اجرای برنامه‌های حفاظتی برای گونه چوبک بیابانی می‌تواند به تقویت پایداری اکوسیستم‌های کوهستانی و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی این مناطق کمک کند و الگویی مؤثر برای مدیریت سایر گونه‌های در معرض خطر ارائه دهد.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های معنوی دانشگاه شهرکرد قدردانی می‌شود.

References

- Abbasian, M., Moghim, S., & Abrishamchi, A. 2019. Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. *Theor. Appl. Climatol.*, 135, 1465–1483. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2456-y>.
- Abdollahi, S., Pourghasemi, H., Ghanbarian, G., & Safaian, R. 2019. Spatial simulation and preparation of land subsidence sensitivity map using maximum entropy model. *Journal of Scientific-Research Watershed Management*, 10(20), 133-144. <https://doi.org/10.29252/jwmr.10.20.133>.
- Akbari, M., & Rafiq, A. 2011. The necessity of water and soil conservation in the 21st century considering the necessity of global warming. *Forest and Rangeland*, 90(90), 96-97.
- Allan, J. R., Venter, O., & Watson, J. E. 2017. Temporally inter-comparable maps of terrestrial wilderness and the Last of the Wild. *Scientific data*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.187>.
- Arab Amiri, M., & Mesgari, M. S. 2019. Spatial variability analysis of precipitation and its concentration in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 2905-2914. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02787-y>.
- Asaadi, M. A., & Najafi Alamdarlo, H. 2023. Estimation of Economic Value of Water and Soil Conservation Function in Northern Central Alborz Protected Area. *Plant Ecosystem Conservation*, 11

منابع

- (22), 130-142. [In Persian]
- Asadzadeh, H. R., Jafari, A., Shirmardi, H. A., & Nematollahi, S. 2024. Evaluating the effectiveness of protected areas in Chaharmahal and Bakhtiari province in protecting vegetation types and proposing the optimal network. *Journal of Natural Environment*, 76 (Special Issue), 111-127. <https://doi.org/10.22059/jne.2023.363926.2589>.
- Atashgahi, Z., Erfanian, M. B., Moazzeni, H., Shemirani, G., & Pirani, A. 2025. Endemic cushions of the Khorassan-Kopet Dagh floristic province show differential responses to future climate change. *Scientific Reports*, 15, 16046. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00453-0>.
- Daneshmand Parsa, R., Mirzaee, R., & Bihamta, N. 2018. Land cover change detection of Chaharmahal va Bakhtiari province using landscape metrics (1994-2015). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7(2), 17-28. <http://doi.org/10.29252/ijae.7.2.17>.
- Ebrahimi Gajoti, T., Hashemim, R., Razban Haghighi, A., & Imani, Y. 2019. Ecological factors affecting the distribution of *Carpinus betulus* L. in Arasbaran forests. *Sustainable Management of Hyrcanian Forests*, 2(1), 37-48.
- Esmaali, A., & Abdollahi, K. 2015. *Watershed Management and Soil Conservation*. Mohaghegh Ardabili University Press, Iran.
- Ghehsareh Ardestani, E., & Heidari Ghahfarrokhi,

- Z. 2021. Ensemblspecies distribution modeling of *Salvia hydrangea* under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains Iran. *Glob. Ecol. Conserv.*, 26, e01488. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01488>.
- Ghehsareh Ardestani, E., Tahmasebi, F., Asadi, E., Gharahi, N., & Bahmani, M. 2025a. Identifying potential priority habitats for the conservation of *Hypericum scabrum* under climate change. *Management of Natural Ecosystems*, 4(4), 60-71. <https://doi.org/10.22034/emj.2025.731847>.
- Ghehsareh Ardestani, E., Yadegari, H., Asadi, E., & Bahmani, M. 2025b. The Impact of climate change on suitable habitats of *Dracocephalum kotschy* in central Iran. *Advanced Environmental Sciences*, 23(2), 477-490. <https://doi.org/10.48308/envs.2024.1422>.
- Godínez-Gómez, O., Schank, C., Mas, J., & Mendoza, E. 2020. An integrative analysis of threats affecting protected areas in a biodiversity stronghold in Southeast Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01297>.
- Grenouillet, G., Buisson, L., Casajus, N., & Lek, S. 2011. Ensemble modelling of species distribution: the effects of geographical and environmental ranges. *Ecography*, 34, 9-17. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06152.x>.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. 2017. *Habitat suitability and distribution models: with applications in R*. Cambridge University Press.
- Guo, Y., Li, X., Zhao, Z., & Nawaz, Z. 2019. Predicting the impacts of climate change, soils and vegetation types on the geographic distribution of *Polyporus umbellatus* in China. *Sciences of The Total Environment*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.465>.
- Hadinejad, M., Erfanzadeh, R., & Ghelichnia, H. 2020. The effect of canopy cover of woody species on characteristics of soil seed bank in arid regions (Case study: rangelands of Chenarnaz village, Khatam county, Yazd province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(4), 730-744. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2020.123149>. [In Persian]
- Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., & Tatian, M. 2017. Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus brantii*) using species distribution modelling in central Zagros for conservation planning. *Journal of Environmental Studies*, 43(3), 497-511. <https://doi.org/10.22059/jes.2017.233756.1007441>.
- Hao, T., Elith, J., Lahoz-Monfort, J. J., & Guillera-Aroita, G. 2020. Testing whether ensemble modelling is advantageous for maximising predictive performance of species distribution models. *Ecography*, 43: 549-558. <https://doi.org/10.1111/ecog.04890>.
- Heshmati, G. A., & Kamali, P. 2016. Effects of woody plants on rangeland ecosystems function. *Natural Ecosystems of Iran*, 6(4), 12-25.
- Heydari, N. 2019. Visions and approaches for adapting to climate change, from agricultural water management and food security aspects. *Water Management in Agriculture*, 6(1), 23-36. [In Persian]
- Heydari Dastenaiei, M. 2020. The hierarchyans central place patterns of the chalcolithic sites in the Bakhtiari highlands, Iran. *Anthropological and Archaeological Sciences*, 2(2), 220-229. <https://doi.org/10.32474/JAAS.2020.02.000133>.
- Jafari Footani, I., Niknahad Gharmakher, H., Akbarlou, M., & Bahremand, A. 2017. Investigation on the effects biomechanical water and soil conservation practices on some soil properties (Case study: Upstream mountains of Gorgan-roud catchment). *Journal of Watershed Management Research*, 8(15), 225-234. <https://doi.org/10.29252/jwmr.8.15.225>.
- Jalili, A. (2020). Do's and don'ts in desert ecosystems and selecting the proper management strategy. *Iran Nature*. 5(2), 3-3.
- Kaky, E., & Gilbert, F. 2020. Allowing for human socioeconomic impacts in the conservation of plants under climate change. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 154(3), 295-305. <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1610109>.
- Karimzadeh, A., Jafarian Jellodar, Z., Ghorbani, J., & Akbarzadeh, M. 2010. The effect of climatic factors and soil moisture on vegetation cover in the Sorkh Deh region of Semnan. In *Proceedings 1th national conference on coastal lands, water resources management*, 8th December, Sari.
- Khajoei Nasab, F., & Zeraatkar, A. 2024. Modeling the potential effects of climate change on the distribution of *Tetrataenium lasiopetalum* (Apiaceae) in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. *The Iranian Journal of Botany*, 30(2), 220-233. <https://doi.org/10.22092/ijb.2024.367084.1492>.
- Khalatbari Limaki, M., Eshagh Nimvari, M., Alavi, S. J., Mataji, A., & Kazemnezhadad, F. 2023. Elevational shift of *Carpinus betulus* L. under the future climate change in northern Iran. *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 13(2), 71-85. <https://doi.org/10.30495/jmr.2023.69911.10264>.
- Khayitov, R. S., Shomurodov, H. F., Abduraimov, O. S., & Berdaliev, A. A. 2021. Phytocenotic Characteristics *Acanthophyllum cyrtostegium* Vved. (Caryophyllaceae) Distributed in Bukhara Region (Uzbekistan). *American Journal of Plant Sciences*, 12, 1036-1042. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.127071>.
- Khodaghohi, M., Motamedi, J., & Saboohi, R. 2023.

Effects of climate change on the distribution of *Bromus tomentellus*. *Iran Nature*, 7(6), 17-25. [In Persian]

Khorasani, M., Ghorbani, M., Tavakoli Zanyani, Z., & Akbari, M. 2021. Assessment and comparative evaluation of livability of villages with and without soil conservation and watershed management activities (Case study: Chaharmahal va Bakhtiari province). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 52(4), 761-772. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2020.286462.668793>.

Lawrence, R., & Labus, M. 2003. Early detection of douglas-fir beetle infestation with subcanopy resolution hyperspectral imagery. *Western Journal of Applied Forestry*, 18, 202-206. <https://doi.org/10.1093/wjaf/18.3.202>.

Maleki, Z., Ejtehadi, H., Abrishamchi, P., Vaezi, J., & Noghan, M. B. 2017. Comparative study of autecological, morphological, anatomical and karyological characteristics of *Acanthophyllum ejtehadii* Mahmoudi & Vaezi (Caryophyllaceae): a rare endemic in Iran. *Taiwania*, 62(3), 321-330. <https://doi.org/10.6165/tai.2017.62.321>.

Mekonnen, H., Bazi, D. Z., & Belay, A. 2018. Effects of Climate Change on Soil and Water Resources: A Review. *Journal of Environment and Earth Science*, 8, 71-80.

Meratan, A. A., Ghaffari, S. M., & Niknam, V. 2008. Effects of salinity on growth, proteins and antioxidant enzymes in three *Acanthophyllum* species of different ploidy levels. *JSUT*, 1-8.

Moawed, S. A., Mahrous, E., Elasad, A., Gouda, H. F., & Fathy, A. 2024. Milk yield prediction in Friesian cows using linear and flexible discriminant analysis under assumptions violations. *BMC Veterinary Research*, 20(1), 392. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04234-1>.

Movahedi, S., & Mosayyebi, M. 1996. An introduction to bioclimate and architecture in Chaharmahal va Bakhtiari province. *Geographical Data*, 5(18), 4-18. <https://doi.org/10.1001.1.25883860.1375.5.18.2.6>.

Mu, H., Li, X., Wen, Y., Huang, J., Du, P., Su, W., & Geng, M. 2022. A global record of annual terrestrial Human Footprint dataset from 2000 to 2018. *Scientific Data*, 9(1), 176. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01284-8>.

Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., & Chirici, G. 2019. Species distribution modelling to support forest management. A literature review. *Ecological Modelling*, 411: 810-817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817>.

Pirani, A., Zarre, S., Pfeil, B. E., Bertrand, Y. J. K., Assadi, M., & Oxelman, B. 2014. Molecular phylogeny of *Acanthophyllum* (Caryophyllaceae):

Caryophyllaceae), with emphasis on infrageneric classification. *Taxon*, 63(3), 592-607. <https://doi.org/10.12705/633.39>.

Ravindra, K. 2019. Emission of black carbon from rural households kitchens and assessment Ripley BD. Neural networks and related methods for classification. *Environment International*, 56(3), 409-37. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.008>.

Rodríguez-Rey, M., & Jiménez-Valverde, A. 2023. Differing sensitivity of species distribution modelling algorithms to climate data source. *Ecol. Informatics*, 79, 102387. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102387>.

Saleh, I., Kaviani, A., Habibnejad Roshan, M. & Jafari, Z. 2017. Experimental investigation of vegetative buffer strips in qualitative and quantitative conservation of water and soil. *Watershed Engineering and management*, 11(2), 344-358.

Salehi, M. H., Khademi, H., Eghbal, M. K., & Mermut, A. 2004. Stable Isotope Geochemistry of Carbonates and Organic Carbon in Selected Soils from Chaharmahal Bakhtiari Province, Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35, 1681-1697. <https://doi.org/10.1081/CSS-120038562>.

Scavo, A., Fontanazza, S., Restuccia, A., Pesce, G. R., Abbate, C., & Maurolicale, G. 2022. The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(5), 93. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00825-0>.

Shaban, M., Ghehsareh Ardestani, E., Ebrahimi, A., & Borhani, M. 2023. Climate change impacts on optimal habitat of *Stachys inflata* medicinal plant in central Iran. *Sci Rep.*, 13, 6580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33660-8>.

Shyvers, J. E., Van Schmidt, N. D., Saher, D. J., Heinrichs, J. A., O'Donnell, M. S., & Aldridge, C. L. 2024. Leveraging local habitat suitability models to enhance restoration benefits for species of conservation concern. *Biodiversity and Conservation*, 33, 3617-3641. <https://doi.org/10.1007/s10531-024-02886-x>.

Sofaer, H. R., Jarnevich, C. S., Pearse, I. S., Smyth, R. L., Auer, S., Cook, G., Edwards, T. C., Guala, G. F., Howard, T. G., Morissette, J. T., & Hamilton, H. 2019. Development and Delivery of Species Distribution Models to Inform Decision-Making. *Forum*, 1-14. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz045>.

Sofi, I. I., Shah, M. A., & Ganie, A. H. 2023. Integrating human footprint with ensemble modelling identifies priority habitats for conservation: a case study in the distributional range of *Arnebia euchroma*, a vulnerable species. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 914. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11528-8>.

Soltani, S., Yaghmaei, L., Khodaghoh, M., & Sabouhi, R. 2011. Bioclimatic Classification of Chaharmahal va Bakhtiari Province Using Multivariate Statistical Methods. *Journal of Water and Soil Science*, 14(54), 53-68.

Teimoori, S., Naghipour, A. A., Ashrafzadeh, M. R., & Haidarian Agha Khani, M. 2020. Predicting the effects of the climate change on the geographical distribution of *Astragalus verus* Olivier in the Central Zagros region. *Rs & GIS for Natural Resources*, 11(2), 68-85. [In Persian]

Wei, B., Wang, R., Hou, K., Wang, X., & Wu, W. 2018. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China. *Global Ecology and Conservation*, 16: e00477. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477>.

Zellmer, A. J., Claisse, J. T., Williams, C. M., Schwab, S., Pondella, D. J. 2019. Predicting optimal sites for ecosystem restoration using stacked-species distribution modeling. *Frontiers in Marine Science*, 6: 3. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00003>.

Zhang, M. G., Zhou, Z. K., Chen, W. Y., Slik, J. F., Cannon, C. H., & Raes, N. 2012. Using species distribution modeling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. *Biological Conservation*, 153, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.04.023>.



*This page is intentionally
left blank.*