مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ۷۱-۶۰
Volume 4, Issue 4, Winter 2025, 60-71
http://emj.ardakan.ac.ir/article_731847.html

شناسایی رویشگاه‌های بالقوه اولویت‌دار برای حفاظت گونه‌ی *Hypericum scabrum* در مواجهه با تغییر اقلیم

الهام قهساره اردستانی*[۱]، فاطمه طهماسبی[۲]، اسماعیل اسدی[۱]، نسرین قرهی[۳]، محسن بهمنی[۴]

چکیده

تغییرات اقلیمی در سطح جهان منجر به تغییرات سریع در اکوسیستم‌ها می‌شود و این اثرات به‌ویژه در مناطق کوهستانی نمایان‌تر است؛ فشارهای انسانی نیز این تغییرات را تشدید می‌کند و گیاهان بومی نسبت به این تغییرات حساس‌ترند. گونه‌ی گل راعی دیهیمی (*H. scabrum*) متعلق به خانواده Hyperaceae از گیاهان چندساله دارویی است. این گونه برای درمان افسردگی و بیماری‌های میکروبی، باکتریایی و ویروسی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در راستای حفاظت و مدیریت گیاه دارویی گل راعی دیهیمی، این پژوهش به پیش‌بینی پراکنش کنونی و آینده‌ی (سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) آن با استفاده از دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0 در قالب سه سناریوی مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک SSP126، SSP370 و SSP585 در استان اصفهان پرداخته است. به‌منظور پیش‌بینی مناطق رویشگاهی مناسب برای گونه‌ی گل راعی دیهیمی، از ۵۱ نقطه حضور این گونه به‌همراه متغیرهای زیست‌اقلیمی و فیزیوگرافی در مدل اجماعی استفاده شد. برای یافتن مناسب‌ترین رویشگاه‌ها برای گونه‌ی گل راعی دیهیمی و حفاظت و احیای این رویشگاه‌ها، پیش‌بینی مدل‌های پراکنش گونه‌ای با نقشه‌ی شاخص فشار انسانی ادغام شدند. عملکرد مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی در دامنه قابل قبول تا عالی (۰/۹۲ – ۰/۴۶) ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که پراکنش این گونه عمدتاً در نواحی غربی و جنوبی منطقه مورد مطالعه متمرکز است. بر اساس مقایسه توزیع فعلی و پیش‌بینی توزیع آتی گل راعی دیهیمی، سطح مناطق با مطلوبیت رویشگاهی عالی برای این گونه دارویی با تغییر چشمگیری بین ۶۰/۳۱- درصد تا ۱۰۰- درصد مواجه خواهد شد. به‌نظر می‌رسد تغییرات اقلیمی منجر به جابجایی دامنه پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی از ارتفاعات پایین‌تر به سمت ارتفاعات بالاتر در منطقه مورد مطالعه گردد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه، از لحاظ اکولوژیکی و فشار انسانی به‌عنوان مناطق حیاتی و دارای اولویت بالا برای حفاظت از گونه‌ی گل راعی دیهیمی شناسایی شده‌اند.

واژگان کلیدی:

تغییر اقلیم، پراکنش جغرافیایی گونه، مدل اجماعی، فشار انسانی، Hyperaceae.

مقاله پژوهشی

۱. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
elham.ghehsareh@sku.ac.ir

* نویسنده مسئول
esmaeila@yahoo.com

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
tahmasebi.m1370@gmail.com

۳. دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
nasrin.gharahi@sku.ac.ir

۴. دانشیار، گروه مهندسی صنایع چوب و مبلمان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
mohsen.bahmani@sku.ac.ir

شناسه مقاله: ۲۵۱۰-۱۱۲۵
شماره صفحه پیاپی: ۹۶۳-۹۷۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷
زمان پذیرش: ۲۴ روز

استناددهی:
قهساره اردستانی، ا.، طهماسبی، ف.، اسدی، ا.، قرهی، ن.، و بهمنی، م. (۱۴۰۳). شناسایی رویشگاه‌های بالقوه اولویت‌دار برای حفاظت گونه‌ی *Hypericum scabrum* در مواجهه با تغییر اقلیم. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۴(۴)، ۷۱-۶۰.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2025.731847

۱- مقدمه

اقلیم یکی از عوامل اصلی تعیین کننده توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهی در سطح منطقه و جهان است و تاثیرات گسترده‌ای بر تنوع زیستی و دامنه‌های گیاهی دارد. تغییرات اقلیمی در آینده ممکن است به تغییراتی در توزیع و فراوانی گونه‌ها، انقراض جمعیت‌های محلی گونه‌ها، تغییرات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی منجر شود (Puchałka et al., 2021؛ Zhang et al., 2018). تغییرات اقلیمی به‌واسطه فشارهای انسانی پیچیدگی‌های قابل‌توجهی بر روی گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌های مختلفی به‌ویژه مرتعی به‌وجود می‌آورد. فعالیت‌های انسانی از جمله ایجاد زیرساخت‌هایی چون راه‌آهن و جاده، تکه‌تکه نمودن زیستگاه‌ها و رویشگاه‌ها، تغییر پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی منجر به فشار انسانی می‌شود و قابلیت آسیب‌رسانی به گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌های مرتعی به‌ویژه مناطق کوهستانی دارند (Venter et al., 2017). مناطق کوهستانی ایران به‌طور عمده دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک هستند و اکوسیستم‌های مرتعی این مناطق ناپایدار و شکننده‌اند.

در چارچوب اهداف توسعه پایدار، حفاظت از تنوع زیستی به‌عنوان یکی از ارکان اساسی مدیریت اکوسیستم‌ها شناخته می‌شود (Aghajani et al., 2018). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که حفاظت مؤثر از تنوع گونه‌ای می‌تواند به‌عنوان شاخصی کلیدی برای ارزیابی سلامت اکولوژیکی اکوسیستم‌ها عمل نماید (Aghajani et al., 2023). این امر به‌ویژه در مورد گیاهان دارویی از اهمیت مضاعفی برخوردار است، چرا که این گونه‌ها غالباً نقش کلیدی در عملکرد و پایداری اکوسیستم‌های شکننده مناطق کوهستانی ایفا می‌کنند. توسعه اقدامات و راهبردهای حفاظتی به‌منظور جلوگیری از انقراض گیاهان مستلزم درک جامعی از رابطه بین دامنه پراکنش گونه‌ها و اقلیم است (West et al., 2016).

برای ارزیابی آسیب‌پذیری گونه‌های گیاهی تحت شرایط اقلیمی که به سرعت در حال تغییر است می‌توان از مدل‌سازی توزیع گونه‌ها برای پیش‌بینی جایگاه‌های اقلیمی گونه‌ها و پیش‌بینی تغییرات بالقوه دامنه پراکنش آن‌ها در آینده استفاده نمود. در حال حاضر مدل‌سازی توزیع گونه‌های مختلفی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند از جمله شبکه عصبی مصنوعی[1] مدل رگرسیون سازشی چند متغیره اسپلاین[2] آنتروپی بیشینه[3] جنگل تصادفی[4] یا سایر مدل‌های دیگر می‌باشد (Wei et al., 2018؛ Pecchi et al., 2019؛ Zellmer et al., 2019). برای کاهش عدم قطعیت‌ها پیش‌بینی، رویکرد مدل‌سازی اجماعی به‌کار می‌رود در این رویکرد، چندین مدل پایه هم‌زمان برای پیش‌بینی یک نتیجه به‌کار گرفته می‌شوند و نتایج آن‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شود تا پیش‌بینی پایدارتر و قابل اعتمادتری ارائه دهد. این رویکرد به‌ویژه زمانی مفید است که داده‌های توزیع گونه‌ها ناهمگن یا محدود باشند، زیرا انسجام و ثبات بهتری در نتیجه‌ها فراهم می‌کند.

برخی از مطالعات اثرات تغییرات اقلیمی را بر روی گیاهان دارویی و معطر مورد بررسی قرار داده‌اند از جمله Kunwar et al. (۲۰۲۳) روی گونه‌های دارویی *Aconitum spicatum*، *Allium wallichii*، *Bergenia ciliata*، *Nardostachys jatamansi*، *Neopicrorhiza scrophulariiflora*، *Paris polyphylla* و *Valeriana jatamansi*، Karimi *et al.* (۲۰۲۲) روی گونه دارویی *Nepeta glomerulosa* و Ghehsareh Ardestani و Heidari Ghahfarokhi (۲۰۲۱) روی گونه دارویی *Salvia hydrangea* مطالعاتی انجام شده است.

گل راعی (*Hypericum* sp.) یک جنس مهم خانواده Hypericaceae که شامل ۴۸۴ گونه از گیاهان علفی، بوته‌ای و درختی است. این جنس در مناطق معتدل رشد می‌کند و برای درمان زخم، اگزما، سوختگی، تروما، روماتیسم، نورالژی، گاستروانتریت، زخم معده، هیستری، شب ادراری و افسردگی کاربرد دارد (Vincent et al., 2021). گونه گل راعی دیهیمی (*Hypericum scabrum*) گیاهی پایا، علفی به ارتفاع ۱۳ تا ۶۰ سانتی‌متر، در قاعده چوبی، افراشته یا خیزان، ساقه‌ها متعدد، منشعب در قاعده، زبر، پوشیده از غده، تقریباً سرخ‌فام، گل زرد، گل‌آذین دیهیمی شکل و پر گل است. زمان گل‌دهی آن خرداد تا تیر و زمان میوه گیاه تیر تا مردادماه می‌باشد. این‌گونه مربوط به ناحیه رویشی ایران- تورانی و در شیب‌های صخره‌ای خشک، مناطق استپی، جنگل‌های بلوط، روی سنگ‌های آهکی از ارتفاع ۶۰۰ تا ۳۴۰۰ متر از سطح دریا رویش دارد. پراکندگی آن در ایران در استان‌های گیلان، مازندران، آذربایجان، گرگان، خراسان، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، همدان، کردستان، تهران و یاسوج و پراکندگی جغرافیایی آن در عراق، سوریه، لبنان، ترکیه، سیبری، ایران، جمهوری آذربایجان، ترکمنستان تا تیان شای، افغانستان، پاکستان و قفقاز است. اصلی‌ترین ترکیبات مؤثره در این‌گونه گیاهی هایپرفورین، هایپرسین و سودوهایپرسین و در طب سنتی برای درمان افسردگی و بیماری‌های میکروبی، باکتریایی و ویروسی مورداستفاده قرار می‌گیرد (ربیعی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Ghasemi Pirbalouti et al., 2014؛ Ergin et al., 2022).

در حال حاضر تحقیقات کمی برای تعیین عوامل محیطی موثر بر حفاظت گونه گل راعی دیهیمی وجود دارد. با توجه به خواص مفید این گیاه دارویی به‌ویژه در کاربردهای درمانی، هنوز هیچ مطالعه‌ای در مورد واکنش این گونه‌ی دارویی به اثرات تغییرات اقلیمی آینده وجود ندارد. در این مطالعه پراکنش گونه گل راعی دیهیمی در شرایط فعلی و آینده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-

1. Artificial Neural Network (ANN)
2. Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)
3. Maximum Entropy (MaxEnt)
4. Random Forest (RF)

ESM2-0 تحت سه سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای SSP126[1]، SSP370[2] و SSP585[3] در استان اصفهان برای حفاظت و مدیریت این گونه گیاهی با ارزش پیش‌بینی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت تقریبی ۱۰۷۰۰۰ کیلومتر مربع، بخشی معادل ۶ درصد از کل مساحت ایران را در مرکز فلات آن در بر می‌گیرد. این استان بین مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. استان اصفهان به خاطر تغییرات ارتفاعی قابل توجه، اقلیم‌های متنوعی را در خود جای داده است. این تغییرات از ارتفاع حدود ۴۰۰۰ متر در غرب، در نواحی زاگرس، تا ۷۰۰ متر در شرق استان، در دشت‌های مرکزی، نوسان دارد (شکل ۱). این تنوع ارتفاعی تأثیر زیادی بر شرایط آب و هوایی و اکوسیستم‌های مختلف حاکم بر استان دارد. در این راستا میانگین ارتفاع این استان به بیش از ۱۶۰۰ متر می‌رسد. در فصل تابستان، دما به شدت افزایش می‌یابد و می‌تواند به بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برسد، در حالی‌که زمستان‌ها ممکن است دما به زیر صفر درجه سانتی‌گراد کاهش یابد. میانگین دمای سالانه در اصفهان حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی سالانه استان حدود ۱۲۰ میلی‌متر است که عمدتاً در فصل‌های پاییز و زمستان بارش رخ می‌دهد (Tarkesh and Jetschke, 2016 ؛Ardestani et al., 2014).

۲-۲- روش پژوهش

در فرآیند تحقیق، ثبت نقاط حضور گونه‌ی گل راعی دیهیمی با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی[4] ضروری است که این نقاط در نواحی به وسعت یک کیلومتر قرار گیرند و فاصله بین آن‌ها حداقل یک کیلومتر باشد. در مجموع، در سطح استان ۵۱ نقطه حضور از این گونه ثبت و یادداشت‌برداری شده است.

با بهره‌گیری از متغیرهای فیزیوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت که از مدل رقومی ارتفاع[5](http://www.worldclim.org) به‌دست آمده، به‌همراه متغیرهای زیست‌اقلیمی (۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی در شرایط فعلی و آینده) استخراج‌شده از پایگاه داده[6] CHELSA (https://chelsa-climate.org) با وضوح فضایی ۳۰ ثانیه (حدود یک کیلومتر) رویشگاه‌های مناسب برای گونه‌ی گل راعی دیهیمی پیش‌بینی گردید (Hijmans et al., 2005).

تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که به‌منظور شبیه‌سازی دقیق بارش و دما در ایران، مدل‌های گردش عمومی GFDL-ESM4[7] و MRI-ESM2-0[8] به‌عنوان بهترین گزینه‌ها شناخته می‌شوند. این مدل‌ها با استفاده از داده‌های اقلیمی و شبیه‌سازی‌های پیچیده، امکان پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی را فراهم می‌کنند و به درک بهتر پدیده‌های اقلیمی کمک می‌کنند. در این مطالعه، برای فرآیند مدل‌سازی گونه‌ی گل راعی دیهیمی، از این دو مدل گردش عمومی در دو دوره زمانی ۲۰۵۰ (سال‌های ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰) و ۲۰۸۰ (سال‌های ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰) تحت سه سناریوی مسیرهای اجتماعی- اقتصادی مشترک[9] SSP126، SSP370 و SSP585 استفاده شد (Fick and Hijmans, 2017؛ Tang et al., 2017 ؛ Salas et al., 2018 ؛ Wei et al., 2018). در این تحقیق، برای تحلیل همبستگی و هم‌خطی میان متغیرها از آزمون پیرسون ($r<\pm 0/8$) بهره گرفته شد (شکل ۳) (Ghehsareh et al., 2021).

در این مطالعه برای پیش‌بینی توزیع گونه‌ی گل راعی دیهیمی، از ده الگوریتم مختلف استفاده شد. این الگوریتم‌ها شامل شبکه عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی و رگرسیون درختی؛[10] تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر؛[11] رگرسیون چند متغیره تطبیقی؛[12] روش افزایشی تعمیم یافته؛[13] مدل خطی تعمیم یافته؛[14] مدل رگرسیون سازشی چند متغیره اسپلاین، آنتروپی بیشینه، جنگل تصادفی و پاکت محدوده سطح[15] می‌باشند (شکل ۱).

برای فرآیند مدل‌سازی، از الگوریتم‌هایی که بهترین تناسب را با مدل‌سازی داشتند، استفاده گردید. به‌منظور پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ی گل راعی دیهیمی در حال حاضر و آینده با دقت بالا، از یک مدل ترکیبی یا اجماعی که خروجی‌های تمامی مدل‌ها را ادغام می‌کند، استفاده شد (Lee et al., 2013). این تحلیل‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار R و از طریق بسته BIOMOD2 انجام گرفت.

به‌منظور ایجاد مدل‌ها، از ۸۰ درصد نقاط حضور این گونه استفاده شد، در حالی که ۲۰ درصد باقی‌مانده به‌طور تصادفی و با تکرار ۵ بار برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها به‌کار گرفته شد. برای ارزیابی دقت مدل‌ها در پیش‌بینی توزیع گونه‌ی گل راعی دیهیمی، از سه معیار مختلف بهره‌گیری شد که شامل

1. SSP1-RCP2.6 climate as simulated by the GCMs
2. SSP3-RCP7 climate as simulated by the GCMs
3. SSP5-RCP8.5 climate as simulated by the GCM
4. Global Positioning System (GPS)
5. Digital Elevation Model (DEM)
6. Climatologies at High Resolution for Earth Land Surface Areas
7. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
8. Meteorological Research Institute
9. Shared Socioeconomic Pathways – SSPs
10. Classification And Regression Tree (CART)
11. Flexible Discriminate Analysis (FDA)
12. Generalized Additive Model (GAM)
13. Generalized Boosted Model (GBM)
14. Generalized Linear Model (GLM)
15. Surface Range Envelope (SRE)

AUC[1] TSS[2] و KAPPA هستند. احتمال وجود رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ی گل راعی دیهیمی در ۵ گروه طبقه‌بندی گردید عبارتند از طبقه اول "مطلوبیت رویشگاه عالی" (>۰/۸)، طبقه دوم "مطلوبیت رویشگاه خوب" (۰/۸~۰/۶)، طبقه سوم "مطلوبیت رویشگاه متوسط" (۰/۶~۰/۴)، طبقه چهارم "مطلوبیت رویشگاه ضعیف" (۰/۴~۰/۲) و طبقه پنجم "مطلوبیت رویشگاه نامناسب" (<۰/۲) (Ghehsareh Ardestani et al., 2021).

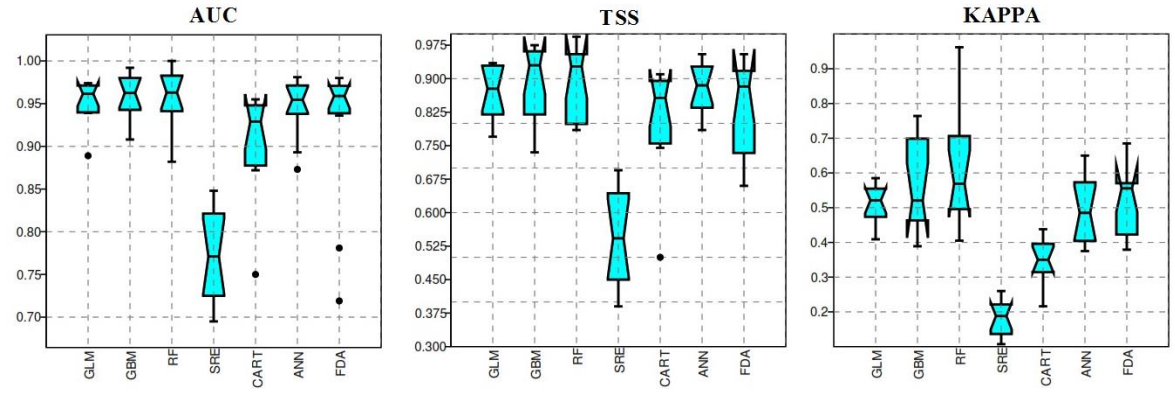
در این مطالعه، به‌منظور بررسی تأثیرات ناشی از فشار انسانی بر محیط زیست، از نقشه فشار تجمعی استفاده شده است. این نقشه اطلاعاتی را ارائه می‌دهد که نشان‌دهنده میزان ردپای انسانی در سطح جهانی تا سال ۲۰۱۸ است. برای تحلیل بهتر این اثرات، متغیرهای مختلفی از جمله زمین‌های کشاورزی، تراکم جمعیت، اراضی مرتعی، جاده‌ها و راه‌آهن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. این متغیرها به‌عنوان نمایندگان اصلی محیط‌های ساخته‌شده به‌شمار می‌روند و می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر روی پراکنش گونه‌ها و کیفیت زیستگاه‌ها و رویشگاه‌ها تأثیر بگذارند. به‌عنوان مثال، افزایش زمین‌های کشاورزی می‌تواند منجر به کاهش نواحی طبیعی شود، در حالی که تراکم بالای جمعیت می‌تواند به فشار بیشتری بر منابع طبیعی و اکوسیستم‌های محلی منجر شود (Mu et al., 2022). استفاده از نقشه شاخص فشار انسانی[3] برای درک بهتری از چگونگی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر روی زیستگاه‌ها و رویشگاه‌های طبیعی و تنوع زیستی است و اقدامات لازم برای حفظ و مدیریت بهینه این منابع را فراهم کند.

نقشه‌های فشار انسانی دارای مقیاس ۱ تا ۵۰ می‌باشند که در آن ردپای انسان <۱ نشان دهنده مناطق وحشی که ناحیه بکر یا بدون دخالت انسان درنظر گرفته می‌شود، ردپای انسانی ۴-۱ منطقه دست‌نخورده یا مناطق تغییریافته توسط انسان و ردپای انسانی ≤۴ منطقه بسیار تغییریافته توسط انسان است (Mu et al., 2022). در این مطالعه برای بررسی دقیق‌تر نقشه فشار انسانی مناطق فوق را به هفت طبقه تقسیم‌بندی شد که عبارتند از (۱) ۱-۰، (۲) ۴-۱، (۳) ۱۰-۴، (۴) ۲۰-۱۰، (۵) ۳۰-۲۰، (۶) ۴۰-۳۰ و (۷) ۵۰-۴۰ هستند. به منظور تلفیق نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی با نقشه فشار انسانی تنها نواحی انتخاب شود که از نظر اقلیمی دارای رویشگاه‌های مطلوب (>۰/۶) و کم فشار (۱-۴)باشند تا نقشه جدید با اولویت حفاظتی بالا تهیه شود (Mu et al., 2022).

۳- نتایج

در راستای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی از ۲۲ متغیر (۱۹ متغیر زیست اقلیمی و ۳ متغیر فیزیوگرافی) با استفاده از آزمون پیرسون، (r<۰±/۸) یک متغیر فیزیوگرافی و ۹ متغیر زیست اقلیمی انتخاب و در فرایند مدل به‌کارگرفته شدند (شکل ۲). از بین ده الگوریتم در پیش‌بینی پراکنش این گونه‌ی دارویی فقط هفت الگوریتم بهترین تناسب را با مدل‌سازی داشتند و در مراحل بعدی اجرای مدل استفاده شدند (شکل ۱).

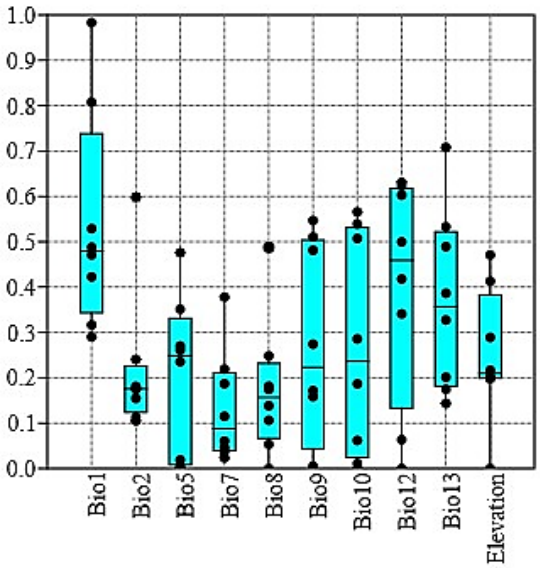
در هفت الگوریتم به‌کارگرفته شده میانگین سه سنجه AUC (۰/۰۷ ± ۰/۹۲)، TSS (۰/۱۲ ± ۰/۸۲) و KAPPA (۰/۱۵ ± ۰/۴۶) عملکرد قابل قبول تا عالی را نشان دادند. در مدل اجماعی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی این سه سنجه AUC (۰/۹۹)، TSS (۰/۹۳) و KAPPA (۰/۷۲) نشان دهنده عملکرد عالی تا خوب است. مدل‌های جنگل تصادفی و افزایش تعمیم یافته در سنجه‌های AUC (۰/۹۶، ۰/۹۶) TSS (۰/۹۰، ۰/۹۰) و KAPPA (به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۵۶) بالاترین میانگین را به خود اختصاص دادند (شکل ۱). مدل پاکت محدوده سطح از اعتبار کمتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است زیرا حداقل میزان سنجه‌های AUC، TSS و KAPPA (۰/۷۷، ۰/۵۵ و ۰/۱۸) را در برگرفته است (شکل ۱).



شکل (۱): برآورد شاخص‌های AUC، TSS و KAPPA برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی (مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی: ANN، رگرسیون و طبقه‌بندی درختی: CART، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر: FDA، روش افزایشی تعمیم یافته: GBM، مدل خطی تعمیم یافته: GLM، جنگل تصادفی: RF و پاکت محدوده سطح: SRE)

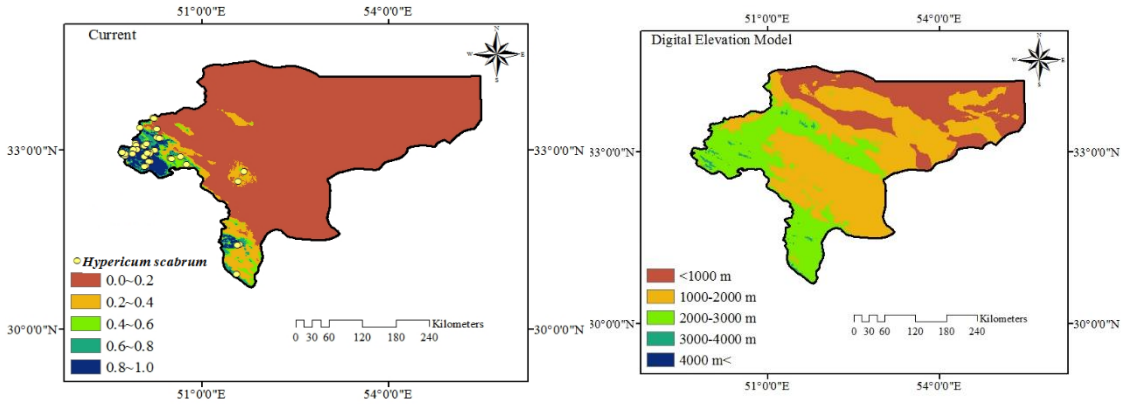
1. Area Under Curve
2. True Skill Statistic
3. Human Pressure Index

بر اساس پیش‌بینی انجام شده در خصوص رویشگاه‌های مطلوب فعلی برای گونه‌ی گل راعی دیهیمی، حدود ۵/۵۷ درصد (رویشگاه‌های عالی ۳/۱۳ و رویشگاه‌های خوب ۲/۴۴ درصد) از کل مساحت استان اصفهان، معادل ۵۹۲۶/۶۰ کیلومترمربع (۲۵۳۲/۶۱ و ۳۳۹۲/۹۹ کیلومترمربع) به رویشگاه‌های عالی و خوب اختصاص دارند. رویشگاه‌های عالی و خوب عمدتا در غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارند و نسبت به سایر نواحی اهمیت بیشتری برخوردارند همچنین بر اساس بررسی‌های میدانی حاکی از آن است سطح بیشتری از حضور واقعی این گونه در این مناطق پیش‌بینی شده است (شکل ۲).

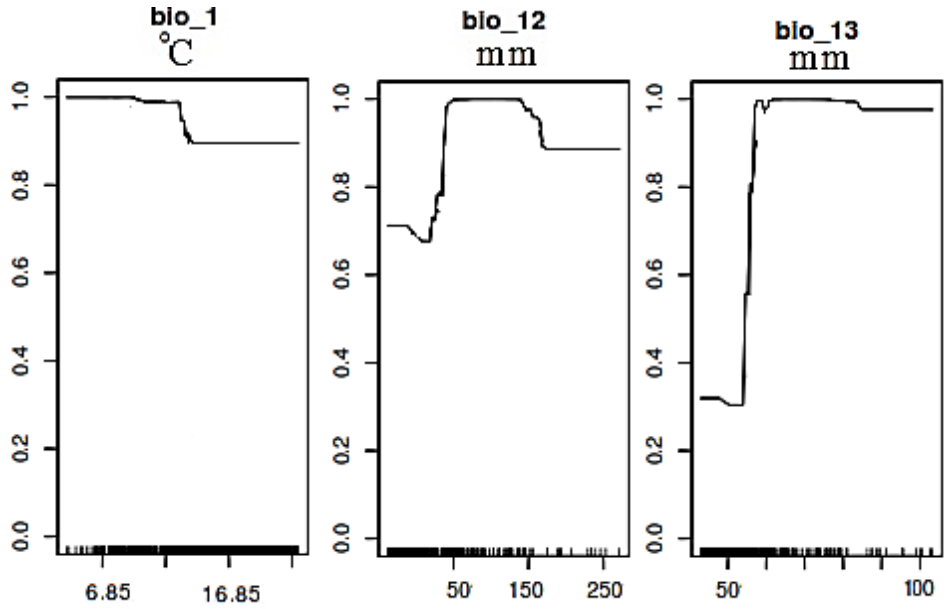


شکل (۲): متغیرهای مورد استفاده در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی (میانگین دمای سالیانه: Bio1، میانگین دامنه دمای روزانه: Bio2، حداکثر دمای گرم‌ترین ماه: Bio5، دامنه دمای سالیانه: Bio7، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل: Bio8، میانگین دمای خشک‌ترین فصل: Bio9، میانگین دمای گرم‌ترین فصل: Bio10، بارندگی سالیانه: Bio12، بارندگی مرطوب‌ترین ماه: Bio13، ارتفاع از سطح دریا: Elevation)

طبق تحلیل میانگین اهمیت، متغیرهای میانگین دمای سالیانه، مجموع بارندگی سالیانه و بارندگی پربارش‌ترین ماه بیشترین سهم را در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی در استان اصفهان به‌خود اختصاص دادند و در حدود ۴۶/۸۴ درصد از تغییرات پراکنش این‌گونه را توجیه نمودند؛ با این حال متغیرهای محیطی دامنه سالیانه دما و میانگین دمای روزانه پربارش‌ترین فصل سال تنها نقش اندکی در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی گل راعی دیهیمی در منطقه موردمطالعه ایفا کردند و در حدود ۱۱ درصد تغییرات پراکنش این‌گونه را پوشش دادند (شکل ۳). حداکثر احتمال حضور گونه‌ی مذکور (Habitat suitability > ۰/۸) در میانگین دمای سالیانه ۴ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، بارندگی سالیانه ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر و میانگین بارندگی پربارش‌ترین ماه ۶۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر رخ خواهد داد (شکل ۴).



شکل (۳): نقشه‌های ارتفاعی و رویشگاه‌های گونه‌ی **گل راعی دیهیمی استان اصفهان**



شکل (٤): متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر احتمال رخداد گونه‌ی گل راعی دیهیمی (میانگین دمای سالیانه: bio1، بارندگی سالیانه: bio12، بارندگی مرطوب‌ترین ماه: bio13)

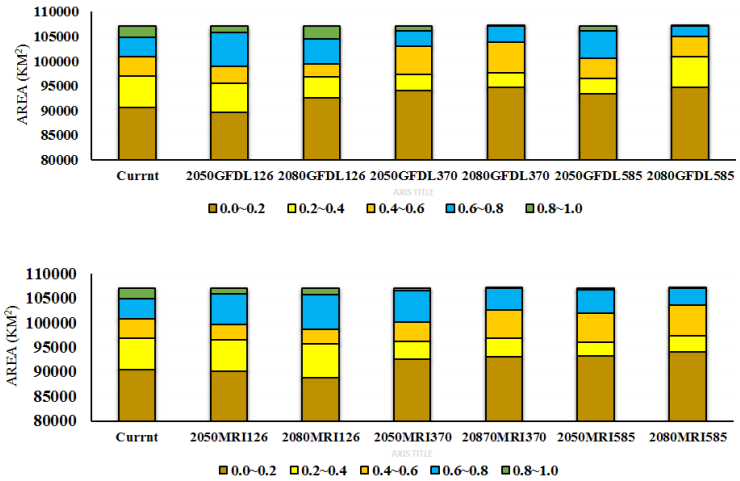
نتایج اختلاف قابل توجهی را بین رویشگاه‌های مطلوب حال حاضر و آینده (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) گونه گل راعی دیهیمی نشان دادند. سطح مطلوبیت رویشگاه‌های عالی (Habitat suitability > ۰/۸) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی گونه‌ی گل راعی دیهیمی بین ۷۵/۴۹- درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۹۹/۸۵- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و بین ۶۰/۳۱- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) تا ۱۰۰- درصد (SSP370، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد (شکل‌های ۵ و ۶).

سطح مطلوبیت رویشگاه خوب (۰/۸ > Habitat suitability > ۰/۶) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی گونه‌ی دارویی مذکور بین ۵۷/۱۷ درصد (SSP370، ۲۰۵۰) تا ۱۲۸/۱۵ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و بین ۱۴/۵۳ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) تا ۶۸/۱۰ درصد (SSP585، ۲۰۵۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 افزایش می‌یابد (شکل‌های ۵ و ۶).

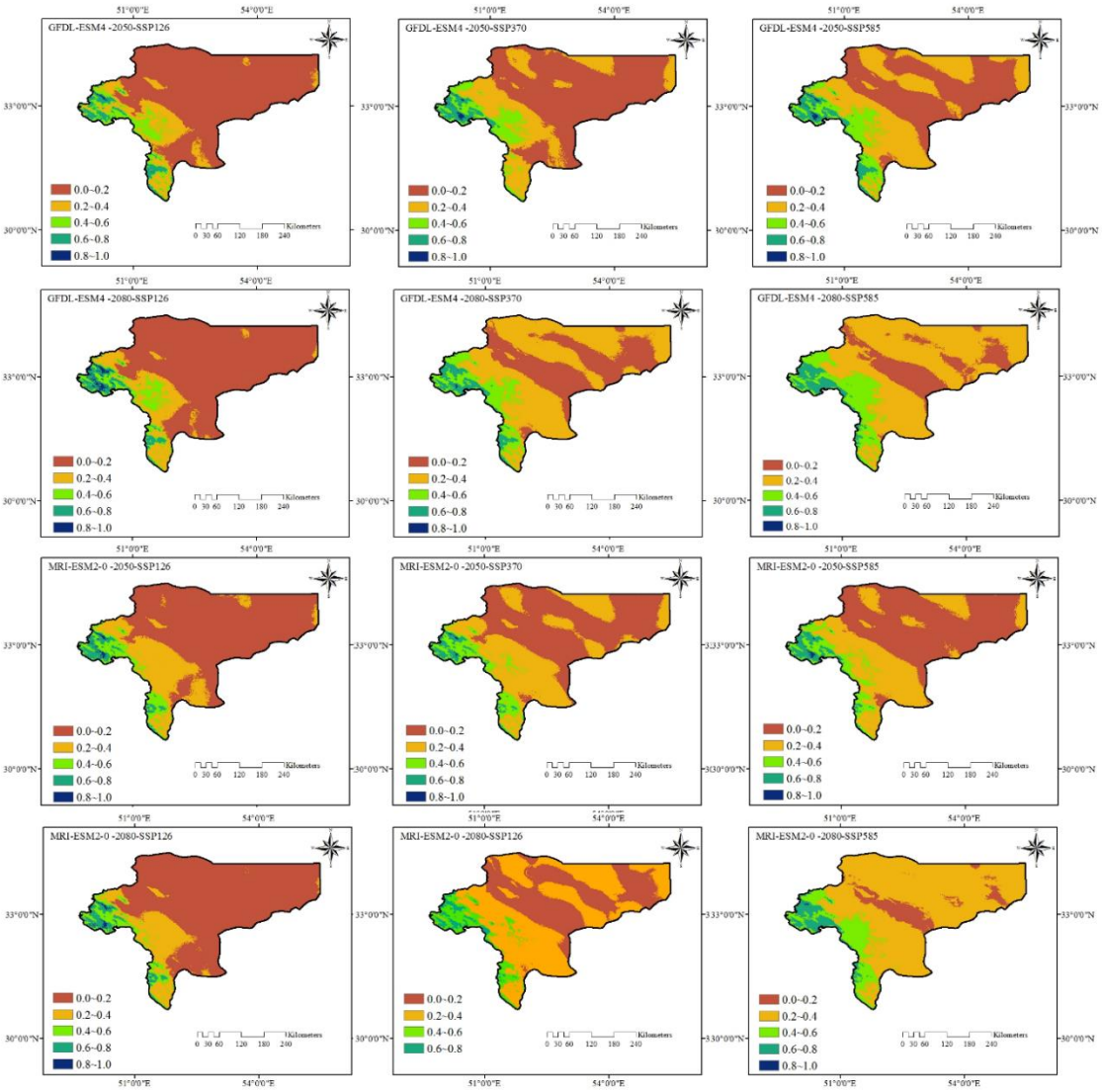
سطح مطلوبیت رویشگاه متوسط (۰/۶ > Habitat suitability > ۰/۴) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی گونه‌ی مورد مطالعه بین ۱۱۰/۴۸ درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۳۲۶/۱۴ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و بین ۶۷/۵۹ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) تا ۱۵۲/۵۳ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 افزایش چشمگیری می‌یابد (شکل‌های ۵ و ۶).

سطح مطلوبیت رویشگاه ضعیف (۰/۴ > Habitat suitability > ۰/۲) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی گونه‌ی گل راعی دیهیمی بین ۱۴۹/۱۴ درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۹۵۱/۸۲ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و بین ۱۷۴/۵۷ درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۸۱۳/۲۲ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 افزایش می‌یابد. مساحت مطلوبیت رویشگاه نامناسب (۰/۲ > Habitat suitability) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی این گونه‌ی دارویی بین ۱۴/۸۸- درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۷۸/۵۹- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و بین ۱۳/۷۰- درصد (SSP126، ۲۰۸۰) تا ۸۷/۶۲- درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 کاهش می‌یابد (شکل‌های ۵ و ۶).

به واسطه تغییرات و پیامدهای اقلیمی، رویشگاه‌های فعلی گونه‌ی گل راعی دیهیمی بین ۳/۷۷ درصد (SSP585، ۲۰۵۰) تا ۲۳/۲۷ درصد (SSP126، ۲۰۵۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و ۴/۴۳ درصد (SSP126، ۲۰۵۰) تا ۱۹/۶۲ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 از بین خواهد رفت در حدود ۱۶/۱۶ درصد (SSP126، ۲۰۵۰) تا ۷۰/۱۸ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و در حدود ۱۳/۵۲ درصد (SPP126، ۲۰۸۰) تا ۵۱/۰۹ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 رویشگاه‌های نامطلوب به رویشگاه‌های مطلوب تبدیل خواهد شد. به‌طور کلی، نرخ خالص تغییرات وسعت رویشگاه مطلوب این گونه در حال حاضر نسبت به آینده بین ۷/۱۱- درصد (SSP126، ۲۰۵۰) تا ۶۴/۲۶ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM4 و بین ۰/۶۳ درصد (SSP370، ۲۰۸۰) تا ۴۶/۰۰ درصد (SSP585، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM2-0 برآورد شد (جدول ۱).



شکل (۵): روند تغییرات رویشگاه‌های گونه‌ی گل راعی دیهیمی تحت سه سناریوری اقلیمی **SSP126، SSP370 و SSP585 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس مدل‌های گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0**

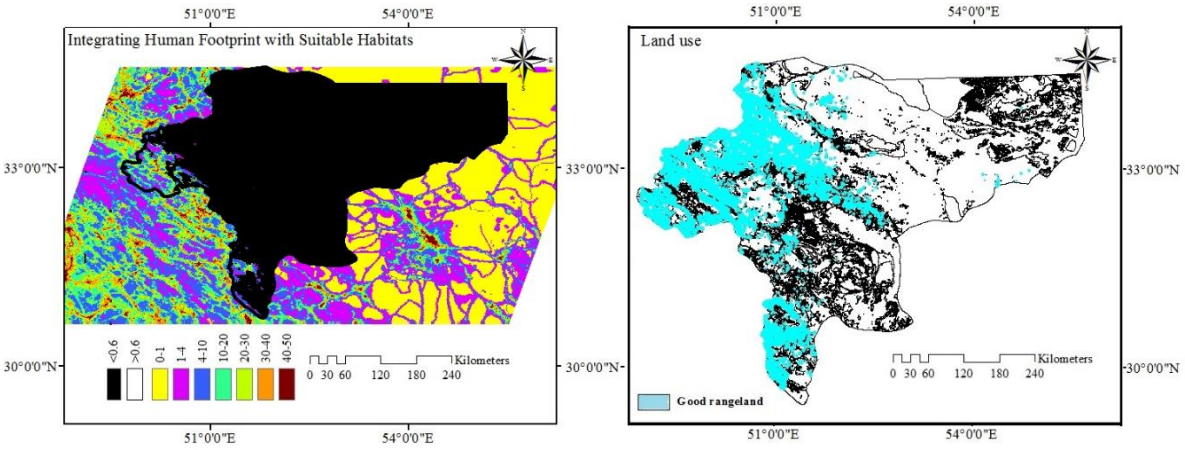


شکل (٦): رویشگاه‌های گونه‌ی گل راعی دیهیمی تحت سناریوری اقلیمی **SSP126، SSP370 و SSP585 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 و MRI-ESM2-0**

جدول (۱): تغییرات سطح رویشگاه‌های مناسب برای گونه گل راعی دیهیمی بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی مدل‌های GFDL-ESM4 و MIR-ESM2-0 برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، تحت سناریوهای اقلیمی SSP126، SSP370 و SSP585

گردش عمومی هوا	سناریو	حضور پایدار (کیلومترمربع)	غیاب پایدار (کیلومترمربع)	رویشگاه ازدست‌رفته (درصد)	رویشگاه جدید (درصد)	تغییرات در سطح رویشگاه (درصد)
GFDL-ESM4						
۲۰۵۰	SSP126	۷۸۵۱	۱۳۷۰۱۷	۲۳/۲۷	۱۶/۱۶	-۷/۱۱
	SSP370	۸۱۰۰	۱۳۵۵۷۱	۲۰/۸۴	۳۰/۲۹	۹/۴۵
	SSP585	۹۸۴۷	۱۳۲۴۴۱	۳/۷۷	۶۰/۸۸	۵۷/۱۰
۲۰۸۰	SSP126	۹۴۴۹	۱۳۶۴۳۴	۷/۶۶	۲۱/۸۶	۱۴/۱۹
	SSP370	۹۷۱۸	۱۳۳۶۶۶	۵/۰۳	۴۸/۹۱	۴۳/۸۷
	SSP585	۹۶۲۷	۱۳۱۴۸۹	۵/۹۲	۷۰/۱۸	۶۴/۲۶
MRI-ESM2-0						
۲۰۵۰	SSP126	۹۷۷۹	۱۳۵۷۳۴	۴/۴۳	۲۸/۷۰	۲۴/۲۶
	SSP370	۹۵۶۳	۱۳۶۵۵۹	۶/۵۴	۲۰/۶۳	۱۴/۰۹
	SSP585	۹۳۷۸	۱۳۵۷۶۹	۸/۳۵	۲۸/۳۵	۲۰/۰۰
۲۰۸۰	SSP126	۹۰۱۳	۱۳۷۲۸۷	۱۱/۹۲	۱۳/۵۲	۱/۶۰
	SSP370	۸۲۲۴	۱۳۶۵۹۷	۱۹/۶۳	۲۰/۲۶	۰/۶۳
	SSP585	۹۷۱۲	۱۳۳۴۴۲	۵/۰۹	۵۱/۰۹	۴۶/۰۰

تحلیل ادغام نقشه شاخص فشار انسانی با نقشه رویشگاه‌های عالی و خوب گونه گل راعی دیهیمی ، نشان‌دهنده این است که اکثر مناطقی که در سناریوهای اقلیمی حال و آینده پیش‌بینی می‌شود که برای این گونه مناسب باشند، در حال حاضر تحت تأثیر فشارهای انسانی و سایر عوامل اجتماعی-اقتصادی قرار دارند. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که بالاترین مطلوبیت رویشگاه‌ها در مناطقی با سطح فشار انسانی متوسط (در طبقات سبز، آبی و بنفش) قرار گرفته‌اند (شکل ۷) (Mu et al., 2022). منطقه رنگ بنفش نشان‌دهنده مناطق حیاتی و دارای اولویت بالا است که برای حفاظت از گونه گل راعی دیهیمی در منطقه مورد مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



شکل (۷): ادغام نقشه رویشگاه‌های با کیفیت عالی و خوب گونه گل راعی دیهیمی با نقشه شاخص فشار انسانی (نقشه سمت چپ)، نقشه سمت راست مراتع خوب در استان

٤- بحث

مطالعات اخیر نشان دادند که مدل جنگل تصادفی و روش افزایشی تعمیم‌یافته از قابلیت‌های بالایی در پیش‌بینی و تحلیل داده‌ها برخوردارند (Cheng et al., 2012؛ Lin and Chiu, 2019). در مقابل، الگوریتم پاکت محدوده سطح عملکرد کمتری از خود نشان داده است (Cahyaningsih et al., 2021)، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که انتخاب الگوریتم مناسب می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر دقت نتایج تحلیل‌ها داشته باشد.

پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط قهساره اردستانی و همکاران (۱۴۰۴) بر روی گونه زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi*) و همچنین مغزی (۱۴۰۱) بر روی گونه مریم نخودی شرقی (*Teucrium orentale*) و مینای پرکپه (*Tanacetum polycephalum* Schultz-Bip.) نواحی پراکنش این گونه‌های دارویی در مناطق جنوبی و غربی استان اصفهان تعیین شد که با یافته‌های حاضر هم‌خوانی و تطابق دارد.

عوامل موثری مانند میانگین دمای سالیانه، بارندگی سالیانه و بارندگی پربارش‌ترین ماه از جمله عوامل کلیدی در پراکنش گونه گل راعی دیهیمی محسوب می‌شوند این تاثیرات به دلیل تنوع توپوگرافی قابل ملاحظه در نواحی رشد این گیاه دارویی نمایان است. شرایط اقلیمی، به‌ویژه بارش و دما، تأثیرات عمیقی بر رشد و پراکنش گونه‌های گیاهی دارند. دما به‌عنوان یک متغیر اساسی در توزیع گیاهان در ارتفاعات بالاتر و مناطق کوهستانی عمل می‌کند (Mohapatra et al., 2019). با افزایش دما، رطوبت موجود در خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و شرایطی ایجاد می‌شود که می‌تواند مانع از رشد و گسترش گیاهان شود. افزون بر این، در مواجهه با افزایش دما و کاهش بارندگی، قابلیت سازگاری تکاملی گونه‌های گیاهی با اقلیم سرد به وضوح تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bista et al., 2021).

یافته‌های مطالعات نشان دادند که رویشگاه‌های این گونه دارویی معمولاً در نواحی کوهستانی با بارندگی کم دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد با هوای خنک تابستان با رطوبت نسبی بالا با دمای متوسط سالیانه ۱۰/۲۲ درجه سانتی‌گراد و بارندگی متوسط سالیانه ۳۲۰ میلی‌متر در مرکز و غرب ایران واقع شده است (Motavalizadekakhky, 2012؛ Otroshy and Moradi, 2012). مطالعات دیگری بیان داشتند که متغیر ارتفاع بر پراکنش گونه دارویی *Salvia hydrangeauder* (Ghehsareh Ardestani and Heidari Ghahfarroki, 2021) و متغیر بارندگی بر پراکنش گونه‌های دارویی مریم نخودی شرقی (*Teucrium orentale*) (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴) و لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.) (نقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸) در مناطق کوهستانی تاثیر واضحی داشتند که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. بنابراین، با متغیرهای زیست اقلیمی می‌توان محدوده پراکنش گونه‌های گیاهی را پیش‌بینی نمود (Lal et al., 2020).

با مقایسه پراکنش حال حاضر و آینده و نرخ تغییرات خالص این گونه، سطح رویشگاه‌های با مطلوبیت عالی این گونه‌کاهش چشمگیری در پی خواهد داشت که می‌توان زنگ هشداری برای انقراض گونه گل راعی دیهیمی در نظر گرفت (Asase and Peterson, 2019؛ Robiansyah, 2018؛ Gaisberger et al., 2020؛ Vincent et al., 2019). با تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود رویشگاه‌های این گونه از سمت شرق به غرب منطقه مورد مطالعه و در شیب ارتفاعی به سمت مناطق مرتفع‌تر به خاطر داشتن درجه حرارت پایین‌تر سوق داده شود که منجر به رقابت گونه‌های گیاهی برای اشغال فضا می‌شود (Mohapatra et al., 2019؛ Thuiller, 2007). به‌طور کلی در برنامه‌های حفاظت و مدیریت این گونه دارویی ارزشمند باید روند تصمیم‌گیری و عملیات سازگاری این گونه با تغییر اقلیم برای کشت و احیای آن تسریع شود (Asase and Peterson, 2019).

توزیع ردپای انسان و مدل‌های پراکنش گونه‌ای در رابطه با گونه گونه گل راعی دیهیمی نشان‌دهنده زنگ هشداری برای حفاظت و احیای این گونه ارزشمند است. این مناطق به‌عنوان 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.

۵- نتیجه‌گیری

بهره‌برداری بیش از حد از گیاهان دارویی در عرصه‌های طبیعی هم‌زمان با تغییرات اقلیمی و افزایش فشار انسان بویژه در مناطق کوهستانی که تغییرات اقلیمی بسیار سریع و پیچیده‌تر رخ می‌دهد موجب انقراض گیاهان می‌شوند. چنین انقراض‌هایی منجر به از دست دادن هم‌زمان ارزش‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی این عرصه‌ها می‌شوند (Coleman et al., 2020).

یکی از رویکردهای مدل‌های پراکنش گونه‌ای مدل اجماعی است که برای تعیین رویشگاه‌های حساس و مطلوب در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Norberg et al., 2019؛ Kaky et al., 2019 ؛ Zhang et al., 2018). به‌منظور تضمین پراکنش گونه‌های موردنظر در آینده، این رویکرد می‌تواند برای شناسایی و حفاظت از رویشگاه‌های مطلوب این گونه‌ها و بهبود مقاومت آن‌ها در رویارویی با پیامدهای تغییر اقلیم به‌کار رود. به‌طور کلی عوامل زیستی در مقیاس محلی و عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی در مقیاس منطقه‌ای برای مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای کافی و مؤثر هستند (Meier et al., 2012؛ Pearson and Dawson, 2003). در مطالعه حاضر برای تعیین رویشگاه‌هایی با مطلوبیت عالی و خوب گونه گل راعی دیهیمی در راستای برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی از مدل‌سازی توزیع گونه استفاده شد.

رویشگاه‌های شکننده کوهستانی شایسته توجه ویژه‌ای برای برنامه‌های حفاظت و مدیریت گیاهان دارویی و نادر هستند. پژوهش حاضر نشان داد که چگونه رویکرد مدل اجماعی می‌تواند رویشگاه‌هایی با مطلوبیت عالی و خوب گونه‌ی گل راعی دیهیمی را در حال حاضر و آینده پیش‌بینی کند. از این رو می‌توان رویکرد مدل اجماعی به عنوان ابزاری مؤثر برای شناسایی رویشگاه‌های مطلوب برای گونه‌های دارویی و نادر معرفی کرد.

در پژوهش حاضر رویشگاه‌های با مطلوبیت عالی و خوب این گونه دارویی به دلیل تغییرات اقلیمی آینده تحت تأثیر پیامدهای منفی قرار می‌گیرند که منجر به تهدید و انقراض گونه گل راعی دیهیمی می‌شود. در برنامه‌های احیای گونه‌هایی که ممکن است به حد آستانه تحمل اقلیمی نزدیک شوند و دامنه پراکنش آن‌ها تا سال ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با تغییر اقلیم در حال کاهش پیش‌بینی شده است، درک و پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به تعیین احتمال موفقیت برای اولویت‌بندی و احیای رویشگاه‌های حساس در میان تغییرات اقلیمی کمک کند.

منابع

حیدری، ر.، خداقلی، م.، و زارعان، م. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی زیست اقلیم گیاهی مریم نخودی شرقی (Teucrium orientale L.) دراستان اصفهان با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، (۴)۲۱، ۶۵۰-۶۳۷.

ربیعی، م.، فیروزی اردستانی، م.، عصری، ی.، و بخشی خانیکی، ی. (۱۳۹۴). بررسی فیتو شیمیایی اسانس گیاه دارویی (Ziziphora clinopodioides Lam.) در رویشگاه‌های طبیعی استان‌های البرز و مازندران. اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی، (۳)۳، ۶۱-۵۴.

قهساره اردستانی، ا.، یادگاری، ح.، اسدی، ا.، و بهمنی، م. (۱۴۰۴) تاثیر تغییر اقلیم بر رویشگاه‌های مطلوب زرین گیاه (Dracocephalum kotschyi) در ایران مرکزی. علوم محیطی، (۲)۲۳، ۴۹۰-۴۷۷.

مغزی، ا. (۱۴۰۱). شناسایی رویشگاه‌های اقلیمی بالقوه گونه‌های مینای پرکپه (Tanacetum polycephalum Schultz-Bip.) و مریم نخودی شرقی (Teucrium orientale L.) در رویارویی با تغییر اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد، ۶۷ص.

نقی‌پور، ع. ا.، حیدری آقاخانی، م.، و سنگونی، ح. (۱۳۹۸). کاربرد روش‌های مدل‌سازی اجماعی در پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه لاله واژگون (Fritillaria imperialis L). پژوهش‌های گیاهی، (۳)۳۲، ۷۵۸-۷۴۷.

Aghajani, H., Marvie Mohadjer, M.R., Bari, E., Ohno, K.M., Shirvany, A., and Asef, M.R. (2018). Assessing the biodiversity of wood decay fungi in northern forests of Iran. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 88(4), 1463-1469.

Aghajani, H., Ghanbari, M.A.T., and Jalilvand, H. (2023). Biodiversity of Deadwood Beech Macrofungi in the Darabkola Educational Research Forest of Sari. Ecology of Iranian Forest, 11(22), 132-141.

Ardestani, E.G., Tarkesh, M., Bassiri, M., and Vahabi, M.R. (2015). Potential habitat modeling for reintroduction of three native plant species in central Iran. Journal of arid land, 7(3), 381-390.

Asase, A., and Peterson, A.T. (2019). Predicted impacts of global climate change on the geographic distribution of an invaluable African medicinal plant resource, Alstonia boonei De Wild. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 14, 100206.

Bista, R., Chhetri, P.K., Johnson, J.S., Sinha, A., and Shrestha, K.B. (2021). Climate-driven differences in growth performance of cohabitant fir and birch in a subalpine forest in Dhorpatan Nepal. Forests, 12(9), 1137.

Cahyaningsih, R., Phillips, J., Brehm, J.M., Gaisberger, H., and Maxted, N. (2021). Climate change impact on medicinal plants in Indonesia. Global Ecology and Conservation, 30, e01752.

Cheng, L., Lek, S., Lek-Ang, S., and Li, Z. (2012). Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. Limnologica, 42(2), 127-136.

Coleman, M.A., Wood, G., Filbee-Dexter, K., Minne, A.J., Goold, H.D., Vergés, A., Marzinelli, E. M., Steinberg, P. D., and Wernberg, T. (2020). Restore or redefine: Future trajectories for restoration. Frontiers in Marine Science, 7, 237.

Ergin, K.N., Karakaya, S., Göger, G., Sytar, O., Demirci, B., and Duman, H. (2022). Anatomical and phytochemical characteristics of different parts of Hypericum scabrum L. extracts, essential oils, and their antimicrobial potential. Molecules, 27(4), 1228.

Fick, S.E., and Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 37(12), 4302-4315.

Gaisberger, H., Legay, S., Andre, C., Loo, J., Azimov, R., Aaliev, S., Bobokalonov, F., Mukhsimov, N., Kettle, C., and Vinceti, B. (2020). Diversity under threat: connecting genetic diversity and threat mapping to set conservation priorities for Juglans regia L. populations in Central Asia. Frontiers in Ecology and Evolution, 8, 171.

Ghasemi Pirbalouti, A., Fatahi-Vanani, M., Craker, L., and Shirmardi, H. (2014). Chemical composition and bioactivity of essential oils of Hypericum helianthemoides. Hypericum perforatum and Hypericum scabrum. Pharmaceutical biology, 52(2), 175-181.

Ghehsareh Ardestani, E., and Ghahfarrokhi, Z.H. (2021). Ensembpecies distribution modeling of Salvia hydrangea under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains, Iran. Global Ecology and Conservation, 26, e01488.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., and Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 25(15), 1965-1978.

Kaky, E., and 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.

Karami, S., Ejtehadi, H., Moazzeni, H., Vaezi, J., and Behroozian, M. (2022). Minimal climate change impacts on the geographic distribution of Nepeta glomerulosa, medicinal species endemic to southwestern and central Asia. Scientific Reports, 12(1), 19893.

Kunwar, R.M., Chowdhary, C.L., Bussmann, R.W., Bhandari, A., and Rimal, B. (2023). Predicting the impact of climate change on the distribution of two invasive plant species in the Himalayan region. Tropical Ecology, 146, 109879.

Lal, M., Samant, S.S., Kumar, R., Sharma, L., Paul, S., Dutt, S., Negi, D., and Devi, K. (2020). Population ecology and niche modelling of endangered Arnebia euchroma in Himachal Pradesh, India-An approach for conservation. Medicinal Plants-International Journal of Phytomedicines and Related Industries, 12 (1), 90-104.

Lee, C.O., Arge, C.N., Odstrčil, D., Millward, G., Pizzo, V., Quinn, J.M., and Henney, C.J. (2013). Ensemble modeling of CME propagation. Solar Physics, 285(1), 349-368.

Lin, C.T., and Chiu, C.A. (2018). The relic Trochodendron aralioides Siebold & Zucc.(Trochodendraceae) in Taiwan: Ensemble distribution modeling and climate change impacts. Forests, 10(1), 7.

Meier, E.S., Lischke, H., Schmatz, D.R., and Zimmermann, N.E. (2012). Climate, competition and connectivity affect future migration and ranges of European trees. Global Ecology and Biogeography, 21(2), 164-178.

Mohapatra, J., Singh, C.P., Hamid, M., Verma, A., Semwal, S.C., Gajmer, B., Anzar, A. Khuroo, A. A., Kumar, A., Nautiyal, M. C., Sharma, N., and Pandya, H.A. (2019). Modelling Betula utilis distribution in response to climate-warming scenarios in Hindu-Kush Himalaya using random forest. Biodiversity and Conservation, 28(8), 2295-2317.

Motavalizadeh Kakhky, M. (2012). The study of allelopathic effects of Artemisia aucheri Boiss extract on seed germination and growth of Bromus tomantellus. Ecophysiology of Crop Plants, 55-65.

Mu, H., Li, Y., Liu, X., Li, M., Zhang, Y., and Li, X. (2022). Risk assessment of invasive alien plant species under climate change in Sri Lanka. Ecological Informatics, 71, 101743.

Norberg, A., Abrego, N., Blanchet, F.G., Adler, F.R., Anderson, B.J., Anttila, J., Araujo, M.B., Dallas, T., Dunson, D., Elith, J., Foster, S.D., Fox, R., Franklin, J., Godsoe, W., Guisan, A., O'Hara, B., Hill, N.A., Holt, R.D., Hui, F.K., Husby, M., Kalas, J.A., Lehikoinen, A., Luoto, M., Mod, H.K., Newell, G., Renner, I., Roslin, T., Soininen, J., Thuiller, W., Vanhatalo, J., Warton, D., White, M., Zimmermann, N.E., Gravel, D., and Ovaskainen, O. (2019). A comprehensive evaluation of predictive performance of 33 species distribution models at species and community levels. Ecological Monograph, 89(3), e01370.

Otroshy, M., and Moradi, K. (2012). Effect of explants and growth regulators on direct organogenesis of Dracocephalum kotschyi boiss. via tissue culture technique.

Pearson, R.G., and Dawson, T.P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? Global ecology and biogeography, 12(5), 361-371.

Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., and Chirici, G. (2019). Species distribution modelling to support forest management. A literature review. Ecological Modelling, 411, 810-817.

Puchałka, R., Dyderski, M.K., Vítková, M., Sádlo, J., Klisz, M., Netsvetov, M., and Jagodziński, A.M. (2021). Black locust (Robinia pseudoacacia L.) range contraction and expansion in Europe under changing climate. Glob Chang Biol, 27(8), 1587-1600.

Robiansyah, I. (2018). Assessing the Impact of Climate Change on the Distribution of Endemic Subalpine and Alpine Plants of New Guinea. Songklanakarin Journal of Science & Technology, 40(3).

Salas, E.A.L., Valdez, R., Michel, S., and Boykin, K.G. (2018). Habitat assessment of Marco Polo sheep (Ovis ammon polii) in Eastern Tajikistan: Modeling the effects of climate change. Ecology and evolution, 8(10), 5124-5138.

Tang, C.Q., Dong, Y.F., Herrando-Moraira, S., Matsui, T., Ohashi, H., He, L.Y., Nakao, K., Tanaka, N., Tomita, M., Li, X.S., and Yan, H.Z. (2017). Potential effects of climate change on geographic distribution of the tertiary relict tree species Davidia involucrata in China. Scientific Reports, 7, 43822.

Tarkesh, M., and Jetschke, G. (2016). Investigation of current and future potential distribution of Astragalus gossypinus in Central Iran using species distribution modelling. Arabian Journal of Geosciences, 9(1), 80.

Thuiller, W. (2007). Climate change and the ecologist. Nature, 448(7153), 550-552.

Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykes, M.T., and Prentice, I.C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(23), 8245-8250.

Vincent, H., Amri, A., Casta˜ neda´ Alvarez, N.P., Dempewolf, H., Dulloo, E., Guarino, L., Hole, D., Mba, C., Toledo, A., and Maxted, N. (2019). Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation. Communications Biology. 2 (1), 136.

Vincent, O.M., Nguta, J.M., Mitema, E.S., Musila, F.M., Nyak, D.M., Mohammed, A.H., and Gervason, M.A. (2021). Ethnopharmacology, pharmacological activities, and chemistry of the Hypericum genus. The Journal Phytopharmacology, 10, 105-113.

Venter, O., Sanderson, E.W., Magrach, A., Allan, J.R., Beher, J., Jones, K.R., Possingham, H.P., Laurance, W.F., Wood, P., Fekete, B.M., Levy, M.A., and Watson, J.E.M. (2016). Global terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009. Scientific Data, 3, 160067.

Wei, B.O., Wang, R., Hou, K., Wang, X., and 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.

West, A.M., Kumar, S., Brown, C.S., Stohlgren, T.J., and Bromberg, J. (2016). Field validation of an invasive species Maxent model. Ecological informatics, 36, 126-134.

Zellmer, A.J., Claisse, J.T., Williams, C.M., Schwab, S., and Pondella, D.J. (2019). Predicting optimal sites for ecosystem restoration using stacked-species distribution modeling. Frontiers in Marine Science, 6, 3.

Zhang, K., Yao, L., Meng, J., and Tao, J. (2018). Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. Science of the Total Environment, 634, 1326-1334.

Management of Natural Ecosystems
Volume 4, Issue 4, Winter 2025, 60-71
http://emj.ardakan.ac.ir/article_731847.html

Identifying potential priority habitats for the conservation of *Hypericum scabrum* under climate change

Elham Ghehsareh Ardestani[*1], Fateme Tahmasebi[2], Esmaeil Asadi[1], Nasrin Gharahi[3], Mohsen Bahmani[4]

CC BY

Research Article

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

elham.ghehsareh@sku.ac.ir

* Corresponding author

esmaeila@yahoo.com

2. MS graduate, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

tahmasebi.m1370@gmail.com

3. Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

nasrin.gharahi@sku.ac.ir

4. Associate Professor, Department of Wood and Furniture Industry Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

mohsen.bahmani@sku.ac.ir

Article Code: 2510-1125
Countinus Pagination: 963-974

Received: 20 October 2025
Accepted: 12 November 2025
Online: 18 November 2025
Review speed: 24 days

Citation:
Ghehsareh Ardestani, E., Tahmasebi, F., Asadi, E., Gharahi, N., and Bahmani, M. (2025). Identifying potential priority habitats for the conservation of Hypericum scabrum under climate change. Management of Natural Ecosystems, 4(4), 60-71.

Abstract

Climate change at the global scale leads to rapid alterations in ecosystems, and these impacts are particularly more pronounced in mountainous regions. Human pressures also further intensify these changes, and native plants display greater sensitivity to such alterations. The species *H. scabrum*, a perennial medicinal herb of the Hypericaceae family. This species is used in the treatment of depression and various microbial, bacterial, and viral diseases. In line with the conservation and management of the medicinal plant *H. scabrum*, this study predicts its current and future distribution (years 2050 and 2080) using two General Circulation Models, GFDL-ESM4 and MRI-ESM2-0, under three scenarios Shared Socioeconomic Pathways SSP126, SSP370, and SSP585, in Isfahan Province. or predicting suitable habitat areas for *H. scabrum*, an ensemble modeling approach was employed using 51 presence points of the species along with bioclimatic and physiographic variables. To identify the most suitable habitats for *H. scabrum* and to inform conservation and restoration of these habitats, species distribution models were combined with a human pressure index map. The performance of the habitat suitability models for *H. scabrum* was evaluated in the acceptable to excellent range (0.46-0.92). The Results indicate that the species' distribution is predominantly concentrated in the western and southern parts of the study area. Based on the comparison between the current and predicted future distribution of *H.* scabrum, the area with high habitat suitability for this medicinal species is expected to change significantly, ranging from 60.31% to 100%Climate change appears to drive a shift in the species' distributional range from lower elevations to higher elevations in the study region. The results indicate that the southern parts of the study area as ecologically and anthropogenically critical, with high priority for the conservation of *H. scabrum*.

Key Words:

Climate change, geographic distribution of the species, ensemble model, human pressures, Hyperaceae.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.731847