IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

بوم‌شناسی کاربردی/ سال هشتم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۸

پیش‌بینی آشیان بوم شناختی اقلیمی گونه *Artemisia aucheri* Boiss. در ایران مرکزی با استفاده از مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای

محدثه امیری[۱]، مصطفی ترکش اصفهانی[۱*] و رضا جعفری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۹)

چکیده

تغییر در پراکنش جغرافیایی گیاهان از آثار مهم تغییر اقلیم است. مطالعه حاضر با هدف پیش‌بینی تغییرات بالقوه در پراکنش درمنه کوهی (*Artemisia aucheri* Boiss.) تحت تغییر اقلیم در مراتع اصفهان انجام گرفت. لذا شش متغیر زیست- اقلیمی و دو متغیر فیزیوگرافی در چارچوب مدل خطی تعمیم‌یافته، آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر، پاکت دامنه سطحی، جنگل تصادفی، رگرسیون تطبیقی چندمتغیره و اجماع این مدل‌ها به‌کار رفتند. از بین عوامل محیطی، متوسط دمای سردترین فصل و بارندگی سالانه بیشترین اهمیت را در برازش مدل‌ها داشتند. بر اساس ارزیابی مدل‌سازی، مدل اجماعی و سپس رگرسیون تطبیقی چندمتغیره صحیح‌ترین پیش‌بینی را برای تعیین رویشگاه اقلیمی ارائه دارند. همچنین مقادیر سطح زیرمنحنی مدل پاکت دامنه سطحی با عملکرد خوب و سایر مدل‌ها با عملکرد عالی، اختلاف معنی‌داری داشتند. حداکثر حضور گونه در ارتفاع ۳۰۰۰-۲۰۰۰ متر و بارندگی سالانه ۲۵۰-۱۰۰ میلی‌متر رخ داد. در هر دو مدل اقلیمی CCSM4 و MPI-ESM-LR، بیشترین میزان جابه‌جایی رویشگاه گونه تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در سال ۲۰۷۰ و کمترین میزان تحت سناریوی RCP2.7 در سال ۲۰۵۰ خواهد بود. همچنین در سال ۲۰۷۰ نسبت به ۲۰۵۰ رویشگاه به‌میزان بیشتری جابه‌جا خواهد شد. نتایج مطالعه می‌تواند در اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی یا ورود گونه به مناطقی با شرایط اکولوژیکی مشابه به‌کار رود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، زیست‌بوم اقلیمی، مدل اجماعی، پایگاه اقلیم جهانی

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_tarkesh@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]

[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

مقدمه

موضوع تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن مانند گرمایش جهانی از مسائل مهم و مطرحی است که بیانگر تغییر در محدوده پراکنش گونه‌ها، ساختار و فراوانی جمعیت گونه‌ها است و می‌تواند به‌وسیله گرم شدن هوا توجیه شود. تغییر اقلیم سبب تغییر در ترکیب گونه‌ای مراتع، کاهش تنوع زیستی از سطح ژنی تا گونه‌ها و اکوسیستم‌ها، تغییر مکانیسم‌ها و مسیرهای پراکندگی نسل‌های جدیدی از جمعیت‌های مادری، تغییر در فرایند تولیدمثل، تغییر محدوده پراکنش و جغرافیای زیستی گونه‌ها و ظهور گونه‌های بیگانه و مهاجم در مراتع شده است (۳۱). تغییر اقلیم به‌دلیل اینکه جنبه‌های مختلف زیستی گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد به یک نگرانی عمده برای مدیریت و حفاظت از تنوع زیستی تبدیل شده است (۷). به‌دلیل پیچیدگی سیستم‌های طبیعی و پدیده تغییر اقلیم، به‌منظور شناخت و درک تأثیر تغییر اقلیم بر آشیان بالقوه گونه‌ها و نیز ارزیابی استراتژی‌های سازگاری با این تغییرات، از مدل‌های پراکنش گونه‌ای استفاده می‌شود (۲۸). مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای به‌مرور زمان با استفاده از داده‌های سنجش از دور، میان‌یابی داده‌های اقلیمی و مدل‌های رقومی ارتفاعی غنی شدند، و نقشه‌های این پیش‌بینی که بر پایه مدل‌سازی آشیان اکولوژیک قرار دارند، همگام با توسعه روش‌های آماری و سنجش از دوری وارد عرصه علم اکولوژی گیاهی شدند (۱۶). در واقع مدل‌های پراکنش گونه‌ای به‌عنوان یک الگوریتم آماری- تحلیلی تعریف می‌شوند که با توجه به مشاهدات میدانی و نقشه‌های محیطی می‌توانند دامنه جغرافیایی پراکنش یک گونه گیاهی معین را تعیین کنند (۱۴). این مدل‌ها، داده‌های پراکنش گونه (حضور و غیاب) را به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های محیطی را به‌عنوان متغیرهای مستقل برای براورد آشیان گونه به‌صورت الگوریتمی به‌کار می‌برند و سپس آن آشیان‌ها را به شکلی که ترجیحات زیستگاه گونه را به‌صورت یک احتمال منعکس می‌سازند، طراحی می‌کنند (۱۰ و ۱۷). بنابراین تغییر در پراکنش گونه‌ها می‌تواند به‌وسیله ارزیابی تغییرات در میدان اکولوژیک یک گونه تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌بینی شود. شناسایی عوامل مهم اقلیمی در پراکنش گونه‌های گیاهی، گامی اساسی در ارزیابی خطر انقراض و پیش‌بینی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها در آینده به‌شمار می‌رود (۲۸). در این خصوص بسیاری از محققان و پژوهشگران در سراسر جهان تحقیقات ارزنده‌ای برای شناخت اقلیم، تغییرپذیری آن و پیش‌بینی این تغییرات در دوره‌های مختلف زمانی آینده انجام داده‌اند.

تاناکا و همکاران (۳۶) به پیش‌بینی زیستگاه بالقوه چهار گونه از جنس Abies با دو روش مدل افزایشی تعمیم‌یافته و رگرسیون تطبیقی چندمتغیره تحت شرایط آب‌وهوایی آینده در شرق آسیا پرداختند. نتایج نشان داد که در حال حاضر سه گونه در ارتفاعات بالا در کوه‌ها یافت شده و مناطق زیادی از زیستگاه آنها در ژاپن رو به کاهش است، همچنین مدل‌های پراکنش گونه‌ای می‌توانند ابزار مفیدی برای ارزیابی‌های بزرگ‌مقیاس و بلندمدت باشند. تیلور و کومار (۳۷) اثرات ترکیبی تغییر اقلیم و زهکشی خاک را روی پراکنش بالقوه آینده گونه مهاجم *Lantana camara* L. در کویینزلند استرالیا با استفاده از مدل کلیمکس (CLIMEX) نشان دادند. این مدل با استفاده از سناریوهای A1B و A2 برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۷۰ و ۲۱۰۰ اجرا شد. نتایج مدل‌های اقلیمی جهانی، کاهش تدریجی شایستگی اقلیمی این گونه را نشان دادند. پریتی و همکاران (۲۹) از مدل حداکثر آنتروپی برای مدل‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های خانواده Myristicaceae در هندوستان استفاده کردند. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم می‌تواند تهدیدی جدی برای گیاهان مردابی این خانواده در آینده باشد. در داخل کشور حیدریان آقاخانی (۱۸) اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii*)، بادامک (*Amygdalus scoparia*)، دافنه (*Daphne mucronata*) و گون‌گزی (*Astragalus adscendens*) را در زاگرس مرکزی و در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 بررسی کرد. پیش‌بینی شد که گونه بادامک در بین گونه‌های مورد مطالعه مقاوم‌ترین گونه و گونه گون گزی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

حساس‌ترین گونه نسبت به تغییر اقلیم بودند. سنگونی و همکاران (۳۲) نیز خصوصیات اقلیمی زیستگاه و پراکنش جغرافیایی دو گونه مرتعی *Agropyron trichophorum* و *Bromus tomentellus* را با استفاده از مدل جنگل تصادفی در زاگرس مرکزی بررسی کردند. طبق نتایج حاصل، مدل گفته شده صحت بالایی در تعیین رویشگاه اقلیمی گونه‌ها داشته و متغیرهای مجموع بارندگی سالانه، دمای متوسط پربارش‌ترین فصل و میانگین دمای روزانه برای هر دو گونه بیشترین اهمیت را داشتند.

از آنجایی که تغییر اقلیم آینده به‌شدت به گرمایش جهانی بستگی دارد، لذا شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر مدل‌های گردش عمومی جو (GCM: General Circulation Model) با وجود برخی کاستی‌ها، مطمئن‌ترین ابزار برای پیش‌بینی وضعیت آینده اقلیمی جهان هستند (۹). این مدل‌ها بر گرمایش جهانی و اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای استوار هستند و پیامدهای بعدی اقلیمی بر اساس افزایش دمای سطح زمین و از طریق شبیه‌سازی پیش‌بینی می‌شوند. سناریوهای انتشار (RCP: Representative Concentration Pathway) دربرگیرنده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی- اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین هستند. این سناریوها در گزارش پنجم ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای ذکر شده‌اند. گفتنی است که تغییر مهمی در قدرت تفکیک مکانی مدل‌های گزارش پنجم نسبت به گزارشات چهارم و سوم رخ داده است و از حدود ۲/۵× ۲/۵ درجه به حدود ۰/۵× ۰/۵ ارتقاء یافته‌اند که پیشرفت بسیار بزرگی است (۲۱). در کشورمان تاکنون اکثر مطالعات در حوزه مدل‌سازی تغییر اقلیم بر اساس داده‌های سری گزارش چهارم انجام شده بود، لذا انجام مطالعات و بروزرسانی آنها با داده‌های گزارش پنجم برای کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی تغییر اقلیم دهه‌های آتی امری ضروری است.

در این مطالعه دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 و RCP8.5 مربوط به سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ با استفاده از مدل‌های اقلیمی CCSM4 (Community Climate *System* Model) و MPI-ESM-LR (Max Planck Institute Earth System Model at base resolution) و پنج الگوریتم مدل‌سازی به‌منظور شناسایی رویشگاه‌های مطلوب و بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش درمنه کوهی (*Artemisia aucheri* Boiss.) در استان اصفهان به‌کار رفتند. مطابق سناریوی RCP2.6 واداشت تابشی به حدود ۳/۱ وات بر مترمربع رسیده، سپس در سال ۲۱۰۰ به ۲/۶ وات بر مترمربع کاهش می‌یابد. در سناریوی انتشار RCP8.5 بدون اتخاذ هیچگونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، واداشت تابشی به ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. همزمان غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و این روند افزایش همچنان ادامه خواهد داشت و وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است (۴۰). مدل‌های CCSM4 و MPI-ESM-LR از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین مدل‌های گردش عمومی جو در خاورمیانه محسوب می‌شوند (۲۷). مدل CCSM4 توسط مرکز تحقیقات هواشناسی آمریکا تدوین شده است که متشکل از پنج مدل جداگانه اتمسفری، اقیانوسی، زمینی، زمین- یخ و دریا- یخ، به اضافه یک مؤلفه ترکیبی مرکزی است (۲۳). مدل MPI-ESM-LR نیز یکی از مدل‌های ارجح برای کمّیت دما است که توسط مؤسسه هواشناسی ماکس پلانک آلمان مدل‌سازی شده است (۲۵).

در پژوهش حاضر فرض بر این است که تغییر اقلیم سبب جابه‌جایی میدان اکولوژیک یا رویشگاه گونه می‌شود. همچنین مدل اجماعی (Ensemble) پراکنش گونه‌ای نسبت به مدل‌های مجزای تطبیقی گونه- محیط توانایی بیشتری در کشف روابط بین گونه و شرایط اقلیمی حاکم بر آن داشته و می‌توانند برای تعیین میزان و جهت جابه‌جایی محدوده مکانی گونه به‌کار رود. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی فعلی گونه (آشیان اکولوژیک) و چگونگی جابه‌جایی گستره جغرافیایی آن در مراتع استان اصفهان و ارائه نقشه پراکنش گونه تحت شرایط فعلی و تحت سناریوهای تغییر اقلیم از اهداف این مطالعه است.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

مواد و روش‌ها

منطقه و گونه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش برخی مراتع استان اصفهان است. استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۵ کیلومتر مربع و دارا بودن ۶/۶ درصد از کل مساحت کشور، بین عرض جغرافیایی ´۴۲ °۳۰ تا ´۲۷ °۳۴ شمالی و طول جغرافیایی ´۳۸ °۴۹ تا ´۳۲ °۵۵ شرقی واقع شده است. در این استان به‌دلیل تغییرات معنی‌دار در ارتفاع (۴۰۰۰-۷۰۷ متر) و تأثیر آن بر عوامل اقلیمی تنوعی از شرایط اقلیمی از فراخشک تا مرطوب به وجود آمده است (۴۱). طبق شاخص خشکی گوسن، منطقه مورد مطالعه چند ناحیه زیست اقلیمی از سرد خشک و استپی سرد در غرب و جنوب غربی تا نیمه‌خشک و خشک در شمال و شرق را شامل می‌شود. این استان بارندگی کمی (معادل ۱۶۰ میلی‌متر در سال) دارد که عموماً در زمستان از آذر تا فروردین اتفاق می‌افتد (۲۲).

درمنه کوهی (*A. aucheri*) از خانواده کاسنی (Asteraceae) گیاهی چندساله به ارتفاع ۵۰-۲۵ سانتی‌متر، به رنگ سبز متمایل به خاکستری و دارای ساقه‌های گل‌دهنده متعدد و افراشته است (۲۶). این گونه که در ناحیه ایران-تورانی رویش دارد همزمان با شروع بارندگی‌های پاییزی مورد استفاده دام قرار می‌گیرد و دارای ارزش دارویی، ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی قوی است. در مراتع نیمه‌استپی مناطق خشک و نیمه‌خشک، از نظر حفظ محیط زیست، جلوگیری از فرسایش خاک، تأمین علوفه برای دام و حیات وحش بسیار با ارزش است. این گیاه دارای قوه نامیه و قدرت تجدید حیات قابل توجه، ریشه‌های عمیق، انتشار وسیع، رویش سریع بذر، دوره رشد طولانی، استقرار و سازگاری با شرایط نیمه‌خشک و مقاومت به چرا است (۱۵). با توجه به شکل ۱، درمنه کوهی دارای آشیان اکولوژیک محدودی در سطح استان بوده، بیشترین پراکنش آن در غرب و جنوب استان در منطقه اقلیمی نیمه‌مرطوب سرد و نیمه‌خشک سرد است، همچنین پراکنش محدودی در اقلیم رویشی گرم و خشک بادی در مرکز استان دارد (۱۳).

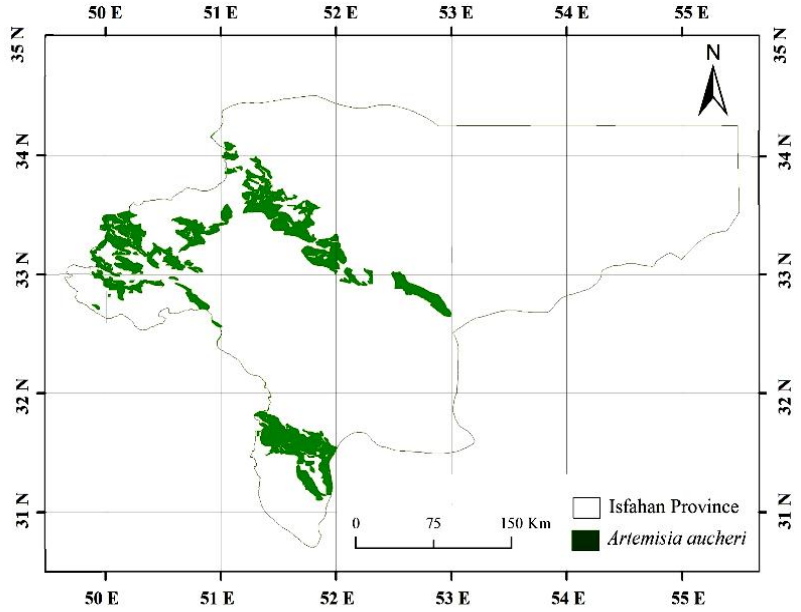
برداشت میدانی

از آنجایی که ارزش نمونه‌های برداشت شده بستگی زیادی به دقت و انتخاب محل‌های نمونه‌برداری دارد، انتخاب این محل‌ها از مراحل مهم کار است. برای کاهش خودهمبستگی مکانی و خطای نمونه‌برداری، نمونه‌برداری به‌روش تصادفی طبقه‌بندی شده، در قالب پیکسل‌های یک کیلومتر مربعی و بر اساس ساختار فیزیونومی- فلورستیک صورت گرفت. برداشت مختصات جغرافیایی نقاط حضور و عدم حضور گونه در استان اصفهان در اردیبهشت و خرداد ماه ۱۳۹۵ انجام شد. برای این منظور، منطقه مورد مطالعه از همپوشانی نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع و نقشه تیپ گیاهی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (۱۳)، به لایه‌های همگن طبقه‌بندی شد. سپس در هر کدام از این طبقات که کلاس‌های مختلف سنی درمنه کوهی قابل مشاهده و پراکنش گونه از نظر فیزیونومی نسبتاً قابل توجه بود، مختصات آن با GPS به‌عنوان نقطه حضور گونه ثبت شد. سایر مناطق که گونه در آن حضور نداشته و مناطق با حضور کم به‌عنوان نقطه غیاب گونه درنظر گرفته شدند. درنهایت، تعداد ۱۱۰ نقطه حضور و ۱۱۰ نقطه غیاب در سطح منطقه مورد مطالعه برای گونه ثبت شد. ساخت و آموزش مدل به‌کمک ۷۵٪ از داده‌های حضور به‌عنوان داده‌های تعلیمی و ارزیابی آن با ۲۵٪ باقیمانده داده‌ها به‌عنوان داده‌های تست که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند، صورت گرفت.

متغیرهای زیستی و محیطی برای مدل‌سازی

داده‌های حضور و عدم حضور گونه به‌عنوان متغیر وابسته و ۱۹ متغیر زیست اقلیمی مندرج در جدول ۱، همراه با داده‌های فیزیوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت به‌عنوان متغیر مستقل مدل‌ها درنظر گرفته شدند. نظر به اینکه متغیرهای فیزیوگرافی در بازه زمانی مورد مطالعه ثابت فرض می‌شوند، اما به‌دلیل ارتباط پراکنش گونه مورد مطالعه با این عوامل

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]



شکل ۱. پراکنش گونه *A. aucheri* در سطح استان (۱۳)

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای زیست اقلیمی در منطقه حضور گونه

متغیر (کد، واحد)	کمینه	بیشینه	میانگین ± انحراف معیار	ضریب تغییرات
میانگین دمای سالانه (BIO1، °C)	۷	۱۵/۲	۱۰/۴±۱۴/۷۲	۱/۴۱
میانگین دامنه دمای روزانه (BIO2، °C)	۱۴/۸	۱۶/۸	۱۵/۹±۴/۵۱	۰/۲۸
ایزوترمالیتی (BIO2/BIO7×100) (BIO3)	۳۴	۳۹	۳۶/۹۱±۱/۲۹	۰/۰۳
تغییرات فصلی دما (SD×100) (BIO4)	۸۳۳/۴	۹۳۹/۷	۸۹۷/۳±۲۸/۷۰	۰/۰۳
حداکثر دمای گرم‌ترین ماه (BIO5، °C)	۲۹/۶	۳۷/۴	۳۲/۸±۱۴/۳۱	۰/۴۳
حداقل دمای سردترین ماه (BIO6، °C)	−۱۳/۶	−۵	−۹/۶±۱۵/۲۴	−۱/۵۸
دامنه تغییرات سالانه دما (BIO5-BIO6) (BIO7، °C)	۴۰/۳	۴۳/۵	۴۲/۴±۷/۵۰	۰/۱۷
دمای متوسط مرطوب‌ترین فصل (BIO8، °C)	−۲/۴	۶/۲	۱/۳±۱۷/۹۷	۱۳/۸۲
دمای متوسط خشک‌ترین فصل **(BIO9، °C)**	۱۴	۲۷/۱	۲۱/۱±۱۶/۹۰	۰/۸۰
دمای متوسط گرم‌ترین فصل (BIO10، °C)	۱۸/۳	۲۷/۱	۲۱/۸±۱۶/۱۲	۰/۷۴
دمای متوسط سردترین فصل **(BIO11، °C)**	−۵/۳	۲/۷	−۱/۵±۱۴/۲۲	−۹/۴۸
بارندگی سالانه **(BIO12، mm)**	۱۰۲	۲۶۳	۱۶۱±۳۸/۳۲	۰/۲۳
بارندگی مرطوب‌ترین ماه (BIO13، mm)	۲۷	۱۱۴	۴۱/۹۷±۱۵/۸۰	۰/۳۷
بارندگی خشک‌ترین ماه **(BIO14، mm)**	۰	۰	۰	۰
بارندگی فصلی، ضریب تغییرات (BIO15)	۷۷	۸۷	۸۳±۲/۴۹	۰/۰۳
بارندگی مرطوب‌ترین فصل (BIO16، mm)	۶۴	۲۷۷	۱۰۶/۲۳±۴۱/۷۷	۰/۳۹
بارندگی خشک‌ترین فصل (BIO17، mm)	۱	۵	۲/۰۴±۱/۰۶	۰/۵۲
بارندگی گرم‌ترین فصل **(BIO18، mm)**	۱	۷	۳±۱/۲۸	۰/۴۲
بارندگی سردترین فصل **(BIO19، mm)**	۵۷	۲۷۷	۱۰۱±۴۴/۶۲	۰/۴۴

* متغیرهای پررنگ (Bold) شده، متغیرهای شرکت‌کننده در مدل پس از آنالیز همبستگی هستند.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

به‌خصوص ارتفاع به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل می‌شوند. متغیرهای زیست اقلیمی مستخرج از پایگاه اقلیم جهانی دربرگیرنده حداقل، حداکثر و میانگین دما و بارش هستند که از داده‌های ماهانه درجه حرارت و بارندگی با روش‌های دقیقی برای کل جهان میان‌یابی شده‌اند (۱۹). از مدل رقومی ارتفاعی حاصل از SRTM با قدرت تفکیک ۹۰ متر در تهیه لایه‌های فیزیوگرافی در نرم‌افزار ArcMap10.3 استفاده شد. با توجه به قدرت تفکیک مکانی متغیرهای آب‌وهوایی (۳۰ ثانیه تقریباً معادل یک کیلومتر) تمامی لایه‌های محیطی با تفکیک‌پذیری یک کیلومتر مربع تهیه و قبل از وارد شدن به مدل‌ها، سیستم مختصات و تعداد پیکسل‌های سطر و ستون آنها برابر شد. به‌منظور جلوگیری از مشکلاتی چون برازش بیش از حد مدل و هم‌خطی بودن، ضریب همبستگی لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای اقلیمی توسط آزمون آماری پیرسون استخراج شد و از بین متغیرهای با ضریب همبستگی بیش از ۰/۸ (l rl >۰/۸)، به‌دلیل اینکه اطلاعات یکسانی را منتقل می‌کنند، فقط یکی از آنها در فرایند مدل‌سازی درنظر گرفته شدند (۳۹). با توجه به نتایج آنالیز همبستگی (جدول ضمیمه) و اهمیت متغیرها از منظر اکولوژیکی برای گونه مورد بررسی تعداد شش متغیر زیست‌اقلیمی شامل دمای متوسط خشک‌ترین فصل (BIO9)، دمای متوسط سردترین فصل (BIO11)، بارندگی سالانه (BIO12)، بارندگی خشک‌ترین ماه (BIO14)، بارندگی گرمترین فصل (BIO18) و بارندگی سردترین فصل (BIO19) و دو متغیر فیزیوگرافی یعنی شیب و ارتفاع که بیشترین همبستگی را با متغیر پاسخ یا حضور گونه داشتند، به‌عنوان ورودی فرایند مدل‌سازی درنظر گرفته شدند.

پس از همپوشانی لایه‌ها، نقشه نهایی پیش‌بینی با تعمیم مدل‌های آماری ارائه شده برای زمان حال تهیه شد. برای بررسی میزان وسعت رویشگاه‌های مطلوب تحت تغییر اقلیم آینده نیز علاوه بر متغیرهای فیزیوگرافی، داده‌های اقلیمی سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ مورد استفاده قرار گرفتند.

مدل‌سازی و اعتبارسنجی مدل

به‌منظور تعیین آشیان اکولوژیک بالقوه درمنه کوهی و تغییر در محدوده جغرافیایی آن تحت تغییر اقلیم آینده، پنج الگوریتم مدل‌سازی با کاربرد وسیع در پراکنش‌های گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم یافته (GLM: Generalized Linear Model) (۱۸، ۲۸، ۳۰ و ۳۳)، آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر (FDA: Flexible Denotative Analysis) (۱۸ و ۳۳)، پاکت دامنه سطحی (SRE: Surface Range Envelope) (۲۸، ۳۰ و ۳۳)، جنگل تصادفی (RF: Random Forest) (۱۸، ۲۸، ۳۲، ۳۳ و ۳۴) و رگرسیون تطبیقی چندمتغیره (MARS: Multivariate Adaptive Regression Spline) (۲۸، ۳۰، ۳۳، ۳۴ و ۳۶) انتخاب شدند. مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار در بسته Biomod2 در نرم‌افزار آماری برنامه‌نویسی R اجرا شدند و نقشه نهایی شایستگی رویشگاه گونه به تفکیک مدل‌ها در چهار کلاس شامل رویشگاه با پتانسیل حداقل (<۰/۲۵)، متوسط (۰/۵-۰/۲۵)، خوب (۰/۷۵-۰/۵) و بالا (>۰/۷۵) تهیه شد. برای ارزیابی مدل‌ها معیارهای ارزیابی مستقل از آستانه و وابسته به آستانه که از ماتریس خطا استخراج می‌شوند به‌کار رفتند. سطح زیر منحنی ویژه عامل دریافت‌کننده (ROC: Receiver Operating Characteristic curve) که صحت حضور پیش‌بینی شده (حساسیت یا نقاط حضور واقعی، Sensitivity) را در مقابل صحت عدم حضور پیش‌بینی شده (اختصاصی بودن یا نقاط حضور کاذب، 1-Specificity) قرار می‌دهد یک شاخص کمّی مستقل از آستانه برای نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مدل است (۱۱). اگر این سطح (AUC: Area Under the Curve) برابر ۰/۵ باشد، بدین معنی است که پیش‌بینی مدل بر اساس نقاط حضور با پیش‌بینی آن بر اساس نقاط تصادفی تفاوتی ندارد. عدد AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ بیانگر یک مدل متوسط، بین ۰/۷ تا ۰/۹ مدل خوب، و بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی عالی مدل است (۳۵). با وجود اینکه AUC، توانایی یک مدل برای تشخیص داده‌های حضور و غیاب را مشخص می‌کند، برای ارزیابی مدل‌های پراکنش توسعه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

یافته با استفاده از روش انتخاب آستانه بر اساس اهداف مطالعه، معیارهای بیشتری می‌توانند به‌کار روند. به این ترتیب که با استفاده از پیش‌بینی‌های دوتایی حضور- عدم حضور با انتخاب آستانه مناسب، شاخص‌های وابسته به آستانه شامل حساسیت، ویژه‌انگاری (۳۲) و TSS (True Skill Statistic) نیز به‌دلیل ارزش آماری‌شان بررسی شدند (۳):

$$\text{Sensitivity} = \frac{a}{a+b} \quad (۱)$$

$$\text{Specificity} = \frac{d}{d+c} \quad (۲)$$

$$\text{TSS} = \frac{ad-bc}{(a+c)(b+d)} = (\text{Sensitivity} + \text{Specificity}) - ۱ \quad (۳)$$

a مقادیر مثبت حقیقی، b مقادیر مثبت کاذب و c مقادیر منفی کاذب است. مقادیر b و c به‌عنوان خطای مدل ثبت می‌شوند و d نشان‌دهنده مقادیر منفی واقعی است (۳۸). آماره TSS هم خطاهای اُمیسیون و هم خطاهای کمیسیون را درنظر می‌گیرد و دامنه آن از ۱- تا ۱+ است، که مقادیر مثبت کارایی بهتر مدل را نسبت به شانس یا تصادف بیان می‌کنند، مقادیر صفر یا منفی نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل هستند و کارایی را نشان می‌دهند که از حالت تصادفی بهتر نیستند (۳).

از آنجایی که مدل‌های پراکنش گونه‌ای همواره با عدم قطعیت‌هایی مواجه هستند و این یک موضوع غیر قابل اغماض است، استفاده از مدل ترکیبی به‌جای استفاده از روش‌های مجزای مدل‌سازی، به‌منظور براورد تغییرات بین مدلی و کاهش عدم قطعیت‌های پیش‌بینی توصیه می‌شود (۴). پس از اجرای مدل‌ها به‌منظور ارائه یک نقشه نهایی از حضور گونه، از تکنیک اجماع بین مدل‌های به‌کار رفته استفاده شد. نقشه اجماع یافته با محاسبه میانگین وزنی نقشه‌های زیستگاه حاصل از مدل‌های مجزا بر اساس AUC به‌دست آمد (۴). در نقشه اجماعی، عدد صفر نشان می‌دهد که هیچکدام از مدل‌ها آن سطح را به‌عنوان زیستگاه مناسب تعیین نمی‌کنند، درحالی که عدد یک نشان می‌دهد که تمامی مدل‌ها آن سطح را به‌عنوان زیستگاه مناسب برای گونه درنظر می‌گیرند. با درنظر گرفتن مدل‌ها به‌عنوان تیمار و مقادیر AUC حاصل از هر تکرار به‌عنوان متغیر وابسته، اختلاف معنی‌دار بین کارایی مدل‌های مجزا و مدل اجماعی با استفاده از آزمون توکی بررسی شد.

بررسی پراکنش گونه تحت سناریوهای تغییر اقلیم

تغییرات گازهای گلخانه‌ای و میزان انتشار این گازها طی دوره‌های آتی از مهم‌ترین ورودی مدل‌های تغییر اقلیم محسوب می‌شوند، از این‌رو سناریوهایی که نشان‌دهنده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و وضعیت آنها تا سال ۲۰۵۰ (میانه سال‌های ۲۰۶۰-۲۰۴۱) و ۲۰۷۰ (میانه سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۱) هستند، تحت شرایط خوب (کاهش میزان دی‌اکسیدکربن جو در نتیجه اشتغال سبز)، و وخیم (پیشرفت صنعتی شدن) به مدل‌های CCSM4 و MPI-ESM-LR با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر مربع معرفی می‌شوند که بر این اساس، داده‌های آینده شبیه‌سازی می‌شوند. هدف از انتخاب این سناریوها نیز پیش‌بینی بیشترین و کمترین حد تغییرات اقلیم آینده است. پس از تهیه نقشه پراکنش تحت این سناریوها و مدل‌های اقلیمی، اختلاف بین نقشه‌های اجماعی حال حاضر و آینده، مبنای تعیین میزان و جهت جابه‌جایی رویشگاه گونه درنظر گرفته شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی متغیرهای اقلیمی محدوده پراکنش درمنه کوهی بر اساس داده‌های حضور در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این پروفیل بیواقلیمی، بیشترین و کمترین انحراف معیار در میان متغیرهای اقلیمی به‌ترتیب متعلق به بارندگی سردترین فصل و بارندگی خشک‌ترین ماه است. میانگین درجه حرارت سالانه و بارندگی سالانه به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای زیست اقلیمی به‌ترتیب در دامنه‌ای از ۷ تا ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۲ تا ۲۶۳ میلی‌متر متغیر هستند. البته ممکن است خارج از این اکوتیپ‌ها نیز گونه مورد مطالعه در شرایطی متفاوت از شرایط ارائه شده در جدول یافت شود. در مجموع، درمنه کوهی از دامنه بردباری بسیار پایینی نسبت به عوامل اقلیمی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

برخوردار بوده، به‌طوری که از این گونه می‌توان به‌عنوان یک گونه با طیف اقلیمی محدود نام برد. همچنین این گونه بر خلاف درمنه دشتی، نیاز دمایی کم و نیاز بارندگی بیشتری دارد و رویشگاه‌های مرتفع و کوهستانی به‌عنوان مناطق مناسب برای این گونه هستند.

کارایی مدل‌های مختلف در پراکنش گونه

در بین روش‌های ارزیابی استفاده شده، در مجموع سطح زیرمنحنی و حساسیت دارای عملکرد بهتری بودند. شاخص سطح زیرمنحنی به‌دلیل اینکه حداقل تأثیر را از اندازه نمونه می‌پذیرد شاخص قابل قبولی برای ارزیابی است (۳). به‌دلیل تفاوت در ماهیّت مدل‌های استفاده شده در این مطالعه نمی‌توان انتظار داشت نتایج حاصل از مدل‌ها یکسان باشد. ارزیابی مدل‌سازی و میزان تطابق نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی بر اساس شاخص ارزیابی AUC، نشان داد که مدل SRE دارای عملکرد خوب و مابقی مدل‌ها دارای عملکرد عالی هستند. چنانچه گویسان و زیمرمن (۱۶) بیان کردند، مدل‌سازی در مورد گونه‌هایی که آشیان باریکی دارند با صحت بالاتری نسبت به گونه‌هایی با آشیان اکولوژیک گسترده صورت می‌گیرد. طبق معیار AUC، مدل رگرسیون تطبیقی چندمتغیره پس از مدل اجماعی، بیشترین کارایی و مدل پاکت دامنه سطحی کمترین کارایی را به‌خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲). نتیجه آنالیز واریانس نشان می‌دهد که از میان مدل‌های برازش داده شده تنها مدل SRE با کمترین میزان AUC با سایر مدل‌ها و مدل اجماعی اختلاف آماری معنی‌داری دارد (شکل ۲). کارایی پایین این مدل در مقایسه با سایر مدل‌ها به‌منظور بررسی پراکنش گونه گیاهی در مطالعه سنگونی و همکاران (۲۰۱۶) نیز تأیید شده است (۳۳). عملکرد بالای مدل اجماعی با یافته‌های استولگرن و همکاران (۳۴) مطابقت دارد. پژوهشگرانی چون بویسان و همکاران (۸) و رپاچیلو و همکاران (۳۰) نیز استفاده از مدل‌های اجماعی را به‌منظور پیش‌بینی پراکنش‌های گونه‌ای تحت سناریوهای تغییر اقلیم پیشنهاد دادند.

اهمیت نسبی متغیرهای محیطی مؤثر در مدل‌های پراکنش گونه‌ای

دمای متوسط در سردترین فصل بیشترین میزان اهمیت را در برازش مدل‌ها داشت به‌گونه‌ای که تقریباً ۳۰ درصد از تغییرات را توجیه کرد. متغیر بارندگی سالانه در درجه دوم اهمیت قرار گرفته و پس از آن، بارندگی در سردترین فصل، ارتفاع و متوسط دما در خشک‌ترین فصل با درجه اهمیت تقریباً یکسان در برازش مدل‌ها ایفای نقش می‌کنند. کم اهمیت‌ترین متغیر، بارندگی در خشک‌ترین ماه است به‌طوری که در برازش مدل MARS هیچ اهمیتی نداشت (جدول ۳).

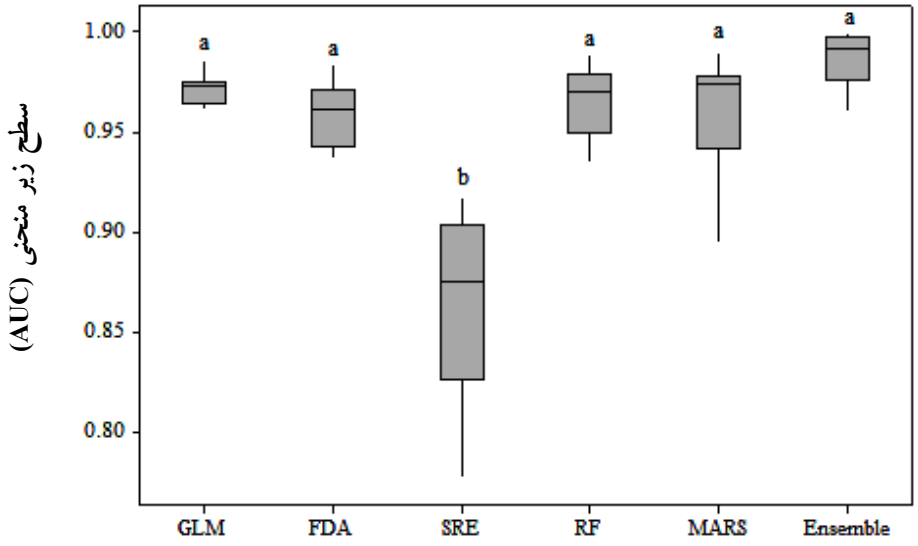
منحنی عکس‌العمل گونه نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی

عکس‌العمل گونه نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی بر اساس مدل اجماعی مورد بررسی قرار گرفت و منحنی‌های آن رسم شد (شکل ۳). منحنی عکس‌العمل درمنه کوهی به بارندگی سالانه به‌صورت چوله‌دار است. در بارندگی سالانه حدود ۲۵۰-۱۰۰ میلی‌متر، بیشترین احتمال رخداد گونه اتفاق می‌افتد، پس از آن احتمال رخداد به‌سرعت کاهش یافته به‌طوری که در بارش بیش از ۲۷۰ میلی‌متر به صفر می‌رسد. علت کاهش رخداد گونه در بارش‌های بیشتر را می‌توان به کاهش توان رقابتی گونه مذکور نسبت به سایر گونه‌های گیاهی نسبت داد که البته به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. با توجه به اینکه این گونه در مناطق مرتفع و کوهستانی رویش دارد به‌دلیل کاهش درجه حرارت در ارتفاعات، درجه حرارت تأثیر بسزایی روی پراکنش گونه دارد. در سردترین فصل سال زمانی که بارندگی از ۱۲۰ میلی‌متر کمتر باشد، اوج حضور گونه مشاهده می‌شود و در بارندگی بیشتر از آن حضور گونه کاهش یافته به‌طوری کهدر بیش از ۱۴۰ میلی‌متر به صفر می‌رسد. زمانی که متوسط دما در سردترین فصل از ۶ درجه سانتی‌گراد کمتر باشد حضور گونه حداکثر بوده و در دمای بیش از ۷ درجه سانتی‌گراد گونه عملاً حضور ندارد. منحنی پاسخ گونه به متوسط دما در خشک‌ترین فصل به‌صورت سیگموئید کاهشی بوده و حداکثر

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

جدول ۲. ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس میانگین مقادیر شاخص‌های صحت‌سنجی

Ensemble	MARS	RF	SRE	FDA	GLM	
						معیار مستقل از آستانه
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۹۶	AUC
						معیارهای وابسته به آستانه
۹۹/۰۹	۹۸/۲۱	۹۶/۰۷	۷۸/۵۷	۹۶/۷۸	۹۶/۷۸	Sensitivity
۹۴/۷۶	۹۲/۶۷	۹۳/۳۱	۹۴/۲۳	۸۹/۶۸	۹۲/۳۳	Specificity
۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۷۳	۰/۸۶	۰/۸۹	TSS

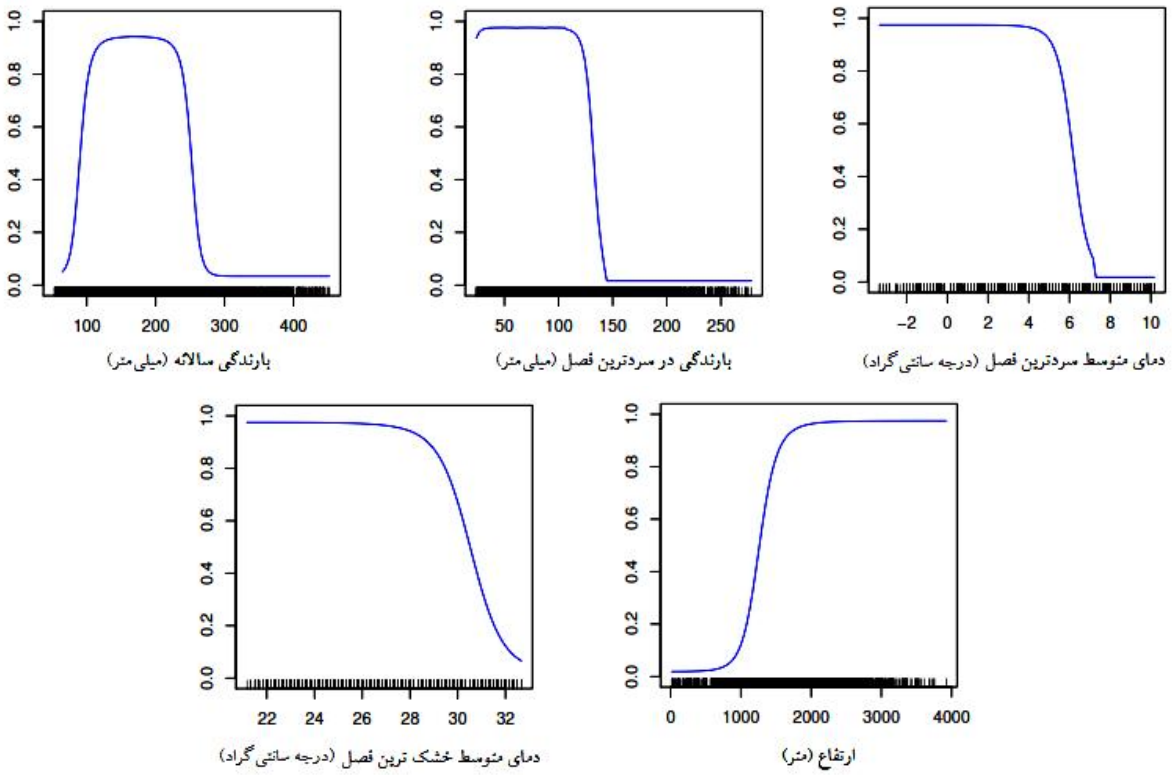


شکل ۲. تغییرات AUC در مدل‌های مبتنی بر پایگاه اقلیم جهانی در پراکنش درمنه کوهی (حروف مشابه حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار هستند، P> ۰/۰۵)

جدول ۳. اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل‌های پراکنش مکانی گونه

Ensemble	MARS	RF	SRE	FDA	GLM	متغیر محیطی
۱۲/۲۸	۲/۱۴	۱۰/۶۱	۱۵/۸۷	۲۲/۳۱	۱۰/۸۶	ارتفاع
۲۹/۳۵	۳۴/۴	۲۸/۵۱	۱۷/۶۴	۴۱/۵۳	۲۹/۳۵	متوسط دما در سردترین فصل (BIO11)
۲۰/۸۵	۲۵/۴۷	۳۸/۳	۱۶/۴۵	۱۶/۲۶	۱۹/۰۷	بارندگی سالانه (BIO12)
۰/۶۸	۰	۰/۰۵	۱/۲۱	۰/۴۳	۱/۰۴	بارندگی در خشک‌ترین ماه (BIO14)
۴/۹	۲/۶۲	۴/۱۰	۱۰/۱۹	۴/۰۱	۲/۴۱	بارندگی در گرم‌ترین فصل (BIO18)
۱۵/۷۷	۲۳/۰۹	۹/۱۲	۱۳/۶۴	۵/۱۴	۲۰/۸۶	بارندگی در سردترین فصل (BIO19)
۱۲/۲۵	۱۱/۲۳	۵/۴۳	۱۴/۱۹	۹/۷۸	۱۴/۷۹	متوسط دما در خشک‌ترین فصل (BIO9)
۳/۹۱	۱/۰۵	۳/۸۸	۱۰/۸	۰/۵۴	۱/۶۲	شیب

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]



شکل ۳. منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به مهم‌ترین متغیرها در پراکنش؛ محور عمودی مقدار پیش‌بینی شده زیستگاه یا احتمال حضور و محور افقی مقدار متغیر محیطی را نشان می‌دهد

احتمال رخداد آن در دمای ۲۸-۲۲ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود، پس از آن احتمال حضور کاهش می‌یابد. ارتفاع معمولاً به‌عنوان یک متغیر مهم اثر اکولوژیکی محسوسی در فرایندهای مدل‌سازی دارد. منحنی پاسخ گونه به متغیر ارتفاع به‌صورت آستانه‌ای افزایشی بوده، حداقل ارتفاع زیستگاه این گونه ۱۶۶۹ متر و حداکثر ارتفاع آن حدود ۳۴۰۰ متر است. بیشترین تراکم این گونه در محدوده ارتفاعی ۳۰۰۰-۲۰۰۰ متری است، به‌طوری که در هنگام برداشت نمونه از منطقه، اثر ارتفاع مشهود بود. پستی‌وبلندی‌ها به‌خصوص تغییرات ارتفاع می‌توانند بسیاری از عوامل محیطی را تغییر داده و در ایجاد رویشگاه و همچنین پراکنش گونه‌های گیاهی نقش مهمی ایفا کنند. حضور این گونه در مراتع نیمه‌استپی و ارتفاعات بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا با نتایج مطالعه اکبرپور یساقی (۱) همخوانی دارد. وی دلیل غلبه این گیاه در مراتع کوهستانی و مرتفع را مقاومت نسبت به سرما، خشکی و نیز چرای دام می‌داند. به‌طوری که این گیاه طی یک دوره خشکی طولانی شش ماهه قادر است به حیات خود ادامه دهد. در واقع در محدوده ارتفاعی مذکور، محدودیت قابل ملاحظه‌ای از لحاظ رطوبت و درجه حرارت برای استقرار و رشد این گونه مشاهده نمی‌شود. حسینی و همکاران (۲۰) و مولایی شام اسبی و همکاران (۲۴) نیز بر تأثیر ارتفاع بر پراکنش درمنه کوهی تأکید کردند. با توجه به پاسخ گونه به ارتفاع و درجه حرارت سردترین فصل، می‌توان گفت که طبق رابطه ارتفاع با دما و بارش، مناطق مرتفع که دمای کمتر و بارندگی بیشتری دارند برای گونه درمنه کوهی دارای تناسب هستند. فیضی و شیرانی (۱۲) یکی از سازندهای گیاهی استان را سازند نیمه‌استپی معتدل- درمنه کوهی ذکر کردند که در ارتفاعات بیش از ۲۲۰۰ متر مشاهده می‌شود. سازند دیگر که با سیمای بوته‌ای و بالشتکی در مناطق با ارتفاع بیش از ۲۸۰۰ متری از سطح دریا یافت می‌شود، سازند مرتفع معتدل- درمنه کوهی است. تغییرات ارتفاعی با تأثیر

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

مستقیم بر سه پارامتر درجه حرارت، بارش و رطوبت و تأثیر غیرمستقیم بر تشکیل خاک بر پراکنش گونه‌های گیاهی مؤثرند. تغییر ارتفاع در شیب‌های مختلف از نظر زاویه و جهت عاملی است که در تشکیل و توسعه جوامع گیاهی اهمیت بسیار دارد (۵). در ارتفاعات بالاتر هر چند که ممکن است شرایط اقلیمی برای حضور گونه در سال‌های آتی تحت تغییر اقلیم فراهم شود اما نوع و خصوصیات خاک ممکن است مانع از حضور گونه شود که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفت.

وضعیت پراکنش فعلی گونه و پراکنش تحت اقلیم آینده

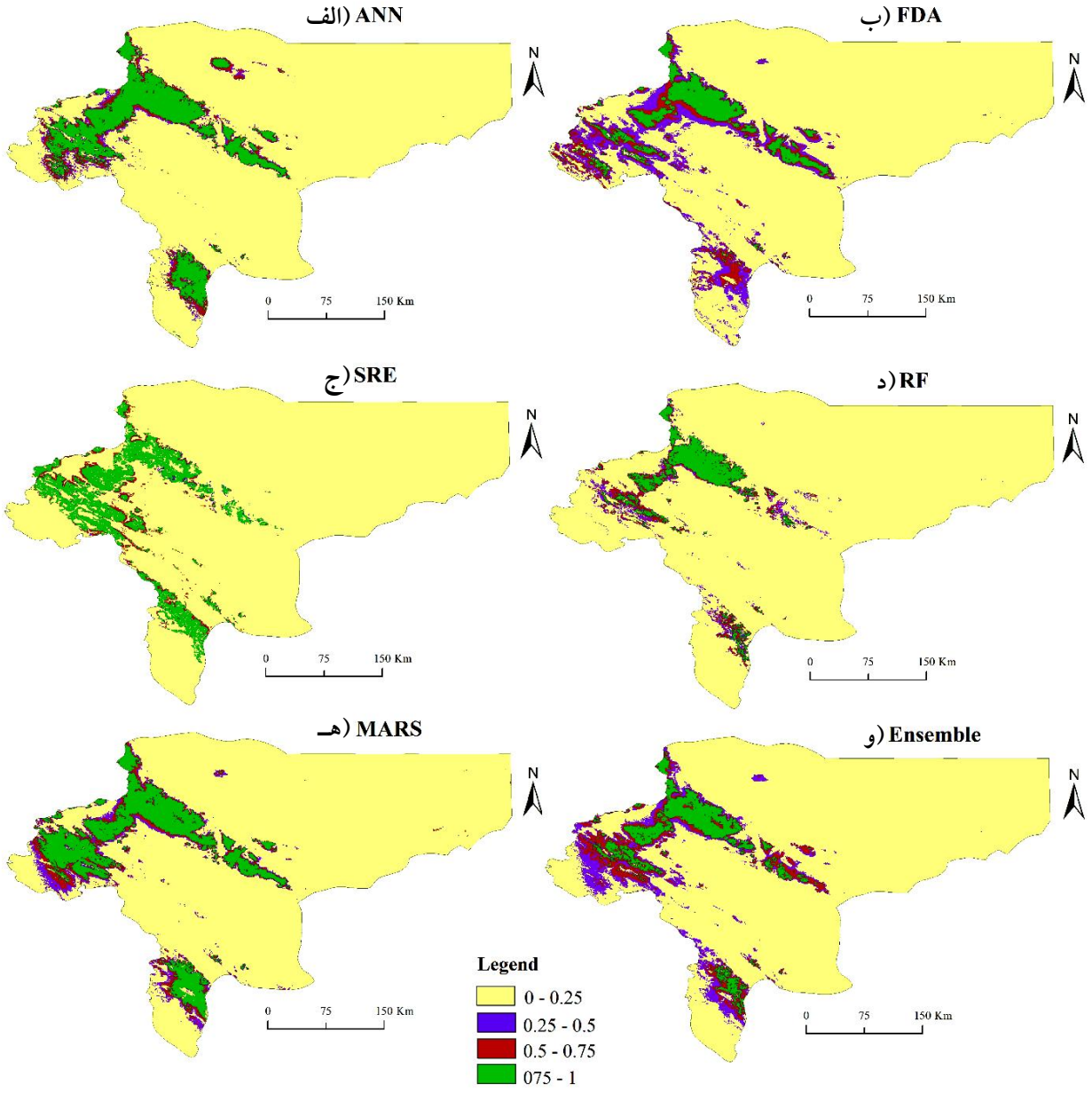
نقشه‌های شایستگی زیستگاه یا الگوهای مکانی در احتمال وقوع پیش‌بینی شده بین الگوریتم‌های مدل متفاوت است اما همپوشانی بسیاری با هم دارند (شکل ۴). بر اساس مدل اجماعی حال حاضر، مساحت حضور و غیاب بالقوه گونه به‌ترتیب برابر ۱۳۱۵۴/۱ و ۹۳۸۹۰/۹ کیلومترمربع است. رویشگاه‌های درمنه کوهی واقع در ارتفاع متوسط ۲۴۶۹ متر، حدود ۱۲/۳ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را به‌خود اختصاص داده‌اند و به‌طور نسبتاً یکپارچه در مناطق غربی و جنوبی آن که میزان ارتفاع و بارندگی از متوسط ارتفاع و بارندگی در کل منطقه بیشتر است، گسترش یافته‌اند. در این مناطق، می‌توان حضور این گونه را در قالب جوامع خالص و بعضاً مخلوط با سایر گونه‌ها مشاهده کرد.

با استفاده از معادلات برازش داده شده برای هر یک از مدل‌ها، نقشه پراکنش گونه در مقاطع زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ و بر اساس سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 با استفاده از مدل‌های اقلیمی تهیه شد. میزان و جهت عمومی جابه‌جایی رویشگاه گونه، با استفاده از نقشه‌های اجماعی حال حاضر و آینده تعیین و در شکل ۵ نشان داده شده است. این نقشه‌های اجماعی با استفاده از نقاط قوت مدل‌های مختلف، نقاط ضعف آنها را پوشش داده و قابل اعتمادترین نتایج را در شناخت پراکنش مکانی و پاسخ به تغییر اقلیم گونه درمنه کوهی فراهم می‌کنند. طبقات تناسب رویشگاه با توجه به ارزش خود دارای وسعت متفاوتی هستند و می‌توان کاهش وسعت گونه مورد نظر را تحت تغییر اقلیم بهتر درک کرد. سطح اشغال درمنه کوهی در مدل‌ها و سناریوهای مختلف تفاوت چندانی نداشت، جابه‌جایی‌ها عموماً در اطراف آشیان فعلی گونه یعنی غرب و جنوب منطقه خواهند بود و گونه مکان جدیدی را در دوره‌های آتی اشغال نخواهد کرد. البته در مقیاس محلی و منطقه‌ای و برای گونه‌های مختلف پاسخ به تغییر اقلیم ممکن است مشابه نباشد. مطالعات کمی نشان دادند که در مقیاس منطقه‌ای روند کاهشی در زیستگاه‌های مناسب گونه‌ها مشاهده خواهد شد، اما در مقیاس کوچک یا محلی، وضع کاملاً متفاوت است (۲۹). تحت شرایط اقلیمی آینده، گونه در محل‌هایی از نقشه پراکنش حال حاضر که احتمال رخداد آن در کلاس ۱–۰/۷۵ است حضور خواهد داشت. احتمالاً محدوده پراکنش گونه تحت سناریوی انتشار بدبینانه که شدیدترین تغییرات اقلیمی یعنی افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی را پیش‌بینی می‌کند، برای جبران افزایش درجه حرارت و رسیدن به حداقل بارندگی لازم برای حضور، به‌سمت ارتفاعات جابه‌جا خواهد شد. الکعبی و همکاران (۲) با این فرضیه که با افزایش محدودیت‌های محیطی (ارتفاع، بارندگی، درجه حرارت و تبخیر و تعرق) انتظار می‌رود که پوشش درمنه‌زارها روند نزولی را طی کنند، به معرفی شاخص‌های تخریب پوشش گیاهی در ایران مرکزی پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، روند تغییرات پوشش درمنه در این منطقه تدریجی و بیان‌کننده روند نزولی بوده و افت آن در نقاط خاص به‌خوبی بیانگر مناطق تخریبی است.

میزان و جهت جابه‌جایی گونه تحت سناریوها و مدل‌های تغییر اقلیم

جدول‌های ۴ و ۵ نشان‌دهنده مقادیر تغییر در محدوده پراکنش مکانی گونه در دو بازه زمانی تحت سناریوهای انتشار RCP2.6 و RCP8.5 و مدل‌های تغییر اقلیم CCSM4 و MPI-ESM-LR در مقایسه با شرایط محیطی حال حاضر هستند. در هر دو مدل اقلیمی، بیشترین و کمترین میزان جابه‌جایی به‌ترتیب

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]



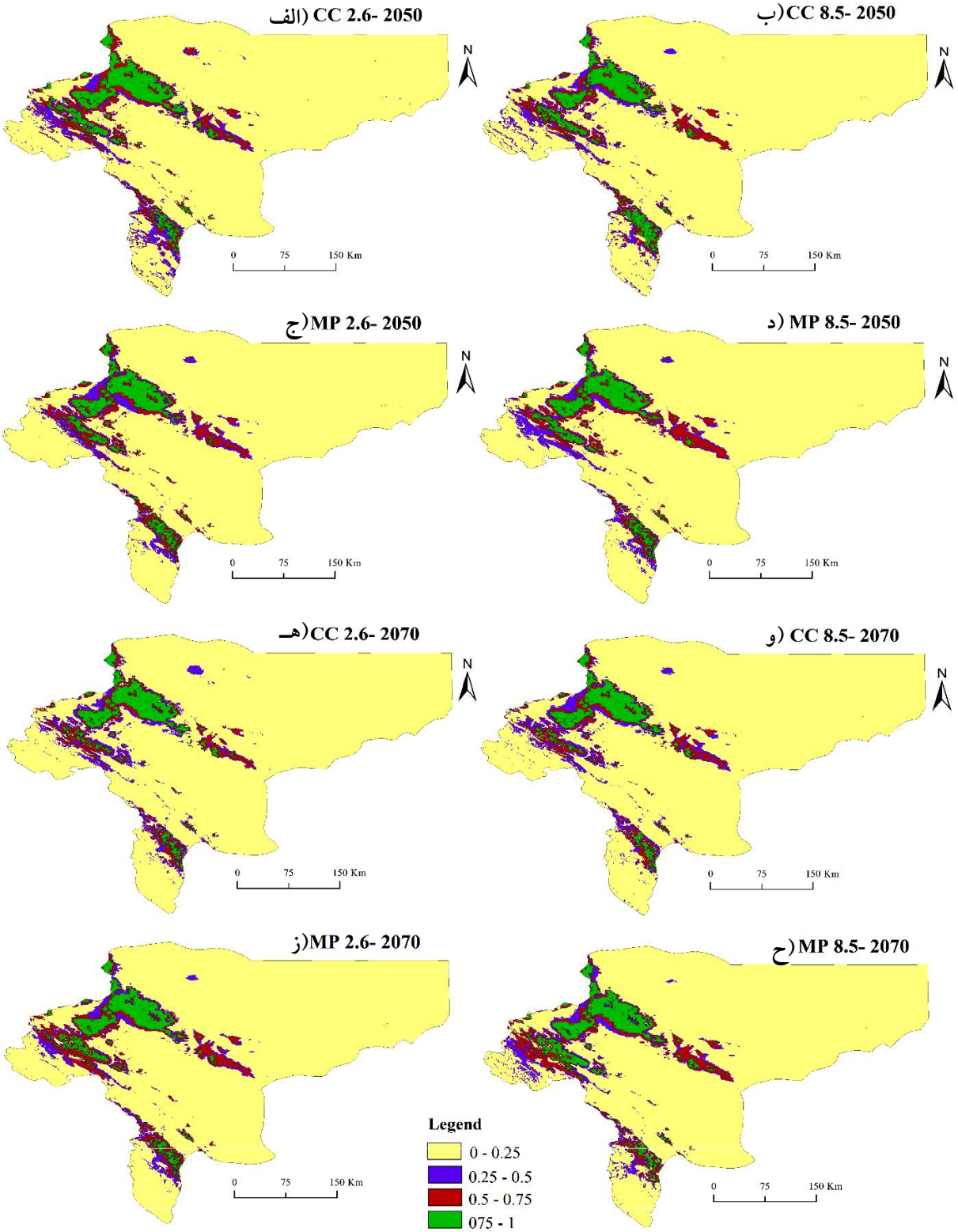
شکل ۴. نقشه پراکنش بالقوه گونه با استفاده از مدل‌های مجزا و مدل ترکیبی (مدل‌های ارائه شده در هر روش از جمع‌بندی ۱۰ بار اجرا حاصل شدند)

تحت سناریوی انتشار RCP8.5 سال ۲۰۷۰ و RCP2.6 سال ۲۰۵۰ رخ خواهد داد. همچنین رویشگاه گونه در مدل CCSM4 تحت هر دو سناریوی انتشار در هر دو بازه زمانی نسبت به مدل MPI-ESM-LR RCP2.6 به‌میزان جابه‌جایی بیشتری جابه‌جا خواهد شد. در هر دو مدل تغییر اقلیم، تحت سناریوی RCP2.6 نسبت به سناریوی RCP8.5 و سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۷۰، اثر کاهشی کمتری بر رویشگاه‌های مناسب گونه مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از بین متغیرهای محیطی متوسط دما در سردترین فصل و بارندگی سالانه بیشترین تأثیر را در پراکنش و تناسب رویشگاه گونه داشتند. از بین مدل‌های برازش داده شده در این

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]



شکل ۵. تفاوت در الگوهای مکانی احتمال رخداد پیش‌بینی شده گونه بین سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در دو دوره زمانی ۲۰۵۰ (الف – د) و ۲۰۷۰ (هـ – ح)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

جدول ۴. سطح اشغال شده توسط گونه تحت سناریوهای مدل اقلیمی CCSM4 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰

	۲۰۵۰		۲۰۷۰	
	RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
حضور فعلی		۱۳۱۵۴/۱		
غیاب فعلی		۹۳۸۹۰/۹		
مناسب باقیمانده	۱۰۲۸۷/۶۸	۹۷۳۰/۹۱	۹۸۵۱/۱	۹۶۱۷/۹۶
نامناسب باقیمانده	۹۱۴۱۴/۷۳	۹۲۴۵۲/۹۹	۹۱۹۲۳	۹۲۷۳۴/۶۴
مناسب شده	۲۴۷۶/۱۷	۱۴۳۷/۹۱	۱۹۶۷/۹	۱۱۵۶/۲۶
نامناسب شده	۲۸۶۶/۴۲	۳۴۲۳/۱۹	۳۳۰۳	۳۵۳۶/۱۴
حضور آینده	۱۲۷۶۳/۸۵	۱۱۱۶۸/۸۲	۱۱۸۱۹	۱۰۷۷۴/۲۲
غیاب آینده	۹۴۲۸۱/۱۵	۹۵۸۷۶/۱۸	۹۵۲۲۶	۹۶۲۷۰/۷۸
رویشگاه‌های مناسب شده (٪)	۱۸/۸۲	۱۰/۹۳	۱۴/۹۶	۸/۷۹
رویشگاه‌های نامناسب شده (٪)	۲۱/۷۹	۲۶/۰۲	۲۵/۱۱	۲۶/۸۸
تغییرات رویشگاه‌های گونه (٪)	-۲/۹۷	-۱۵/۰۹	-۱۰/۱۵	-۱۸/۰۹

*مساحت به کیلومتر مربع بیان شده است.

جدول ۵. سطح اشغال شده توسط گونه تحت سناریوهای مدل اقلیمی MPI-ESM-LR در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰

	۲۰۵۰		۲۰۷۰	
	RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
حضور فعلی		۱۳۱۵۴/۱		
غیاب فعلی		۹۳۸۹۰/۹۹		
مناسب باقیمانده	۱۰۲۹۲/۰۳	۱۰۲۵۶/۶	۱۰۸۶۷/۹۲	۱۰۲۰۸/۸۱
نامناسب باقیمانده	۹۱۰۹۱/۸۲	۹۱۶۱۷/۴۶	۹۲۱۵۰/۶۲	۹۱۹۰۴/۶۳
مناسب شده	۲۷۹۹/۰۸	۲۲۷۳/۵۳	۱۷۴۰/۳۷	۱۹۸۶/۳۶
نامناسب شده	۲۸۶۲/۰۷	۲۸۹۷/۵	۲۲۸۶/۱۸	۲۹۴۵/۲
حضور آینده	۱۳۰۹۱/۱۱	۱۲۵۳۰/۱۳	۱۲۶۰۸/۲	۱۲۱۹۵/۱۷
غیاب آینده	۹۳۹۵۳/۸۹	۹۴۵۱۴/۹۶	۹۴۴۳۶/۸	۹۴۸۴۹/۸۳
رویشگاه‌های مناسب شده (٪)	۲۱/۲۸	۱۷/۲۸	۱۳/۲۳	۱۵/۱
رویشگاه‌های نامناسب شده (٪)	۲۱/۷۵	۲۲/۰۲	۱۷/۳۸	۲۲/۳۹
تغییرات رویشگاه‌های گونه (٪)	-۰/۴۷	-۴/۷۶	-۴/۱۵	-۷/۲۹

*مساحت به کیلومتر مربع بیان شده است.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

مطالعه که بر مبنای داده‌های پایگاه اقلیم جهانی قرار دارند، رگرسیون تطبیقی چندمتغیره پس از مدل اجماعی از کارایی بالاتری برخوردار بود. حداقل کارایی مربوط به مدل SRE است که با سایر مدل‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود. مقایسه تکنیک‌های مختلف مدل‌سازی منجر به انتخاب روش‌های کاراتر می‌شوند که این روش‌ها می‌توانند نتایج صحیح‌تر و معتبرتری تولید کنند و حتی پایه‌ای قوی برای تصمیمات صحیح مدیریتی باشند. از طرف دیگر این مقایسه سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه برای انجام مطالعات بعدی می‌شود. حداکثر احتمال حضور گونه در مناطقی با بارندگی سالانه ۲۰۰–۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰۰–۲۰۰۰ متری است. زمانی که در سردترین فصل، بارندگی کمتر از ۱۲۰ میلی‌متر و دما منفی باشد، همچنین در خشک‌ترین فصل دما بین ۱۲–۱۸ درجه سانتی‌گراد باشد، اوج حضور گونه مشاهده می‌شود. در هر دو مدل اقلیمی، بیشترین میزان جابه‌جایی رویشگاه درمنه کوهی تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در سال ۲۰۷۰ و کمترین میزان جابه‌جایی آن نیز تحت همین سناریو در سال ۲۰۵۰ خواهد بود.

هدف اصلی این مطالعه پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم روی گونه درمنه کوهی از طریق مرتبط کردن پراکنش‌های گونه‌ای فعلی با اقلیم و سپس پیش‌بینی پراکنش‌های آینده تحت سناریوهای اقلیمی بود. بکنز و همکاران (۶) نیز بیان داشتند که پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها در آینده با کاربرد مدل‌های پراکنش گونه‌ای که بر اساس متغیرهای محیطی حال حاضر توسعه یافته‌اند می‌توانند بهترین توصیف از پراکنش گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم را ارائه دهند.

بررسی ارتباط پراکنش گونه‌ها در رابطه با تغییر اقلیم به‌کمک مدل‌های پراکنش گونه‌ای امری ضروری به‌نظر می‌رسد تا با استفاده از این اطلاعات، تصمیمات صحیح حفاظتی و مدیریتی اتخاذ شوند. در واقع این مدل‌ها می‌توانند روابط بین رخداد یک گونه با مجموعه‌ای از شرایط فیزیکی و بیولوژیکی که برای آن گونه مناسب هستند را تعریف کنند. به‌علاوه با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان امکانات و محدودیت‌های اقلیمی مرتبط با گسترش و پراکنش این گونه درمنه را تعیین کرد، چنانچه شناخت آنها می‌تواند در استفاده صحیح و متناسب با توان و استعداد منطقه و همچنین تعیین محدوده مناطق حفاظتی مفید واقع شود. طبق نقشه پراکنش پتانسیل گونه می‌توان برای حفاظت از محدوده‌های پراکنش پتانسیل گونه اقدام کرد و این روش کاربرد گسترده‌ای در اولویت‌بندی مناطق حفاظت شده و نیز اولویت‌بندی در میان گونه‌ها برای برنامه‌های حفاظتی دارد.

با توجه به اهمیت درمنه‌زارها، مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی شده در این مناطق برای حفظ تنوع زیستی و کاهش بیابان‌زایی ضروری است. توصیه می‌شود که پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه‌ها با استفاده از داده‌های پیش‌بینی شده توسط سایر مدل‌های گردش عمومی و تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم انجام شود و تغییرات پراکنش جغرافیایی آنها مورد پایش قرار گیرد. مطالعات آزمایشگاهی و فیزیولوژیک در قالب مدل‌های مکانیستی به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر تغییرات درجه حرارت و بارندگی روی گونه‌های درمنه نیز می‌تواند صورت گیرد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61] [DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4] [Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]

ضمیمه ۱. ضرایب همبستگی پیرسون بین متغیرهای زیست‌اقلیمی برای تعیین متغیرهای مؤثر بر پراکنش

	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
BIO1	۱																		
BIO2	۰/۵۳**	۱																	
BIO3	۰/۴۳**	۰/۹۵**	۱																
BIO4	۰/۷۴**	۰/۳۲*	۰/۱۱	۱															
BIO5	۰/۹۰**	۰/۸۱**	۰/۶۹**	۰/۷۳**	۱														
BIO6	۰/۸۵**	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۵۸**	۰/۵۷**	۱													
BIO7	۰/۵۹**	۰/۹۵**	۰/۸۴**	۰/۵۴**	۰/۸۷**	۰/۱۱	۱												
BIO8	۰/۹۶**	۰/۶۴**	۰/۵۶**	۰/۶۳**	۰/۹۲**	۰/۷۶**	۰/۶۷**	۱											
BIO9	۰/۹۹**	۰/۵۴**	۰/۴۳**	۰/۸۰**	۰/۹۲**	۰/۸۲**	۰/۶۳**	۰/۹۵**	۱										
BIO10	۰/۹۹**	۰/۵۴**	۰/۴۲**	۰/۸۰**	۰/۹۲**	۰/۸۲**	۰/۶۳**	۰/۹۵**	۰/۹۹**	۱									
BIO11	۰/۹۴**	۰/۴۹**	۰/۳۹**	۰/۷۵**	۰/۸۶**	۰/۸۰**	۰/۵۷**	۰/۹۰**	۰/۷۵**	−۰/۹۵**	۱								
BIO12	−۰/۴۴**	۰/۳۳**	۰/۲۹*	−۰/۱۸*	−۰/۰۹	−۰/۷۴**	۰/۳۲*	−۰/۳۰*	−۰/۳۹*	−۰/۳۴*	−۰/۴۰*	۱							
BIO13	−۰/۴۹**	۰/۳۴**	۰/۳۳**	−۰/۳۳**	−۰/۱۴	−۰/۷۸**	۰/۲۹*	−۰/۳۴*	−۰/۴۵*	−۰/۴۶**	−۰/۴۶*	۰/۷۲**	۱						
BIO14	−۰/۴۳**	−۰/۲۹*	−۰/۴۱**	۰/۱۵	−۰/۳۱*	−۰/۴۲*	−۰/۱۴	−۰/۴۹**	−۰/۳۵*	−۰/۳۵*	−۰/۳۴*	۰/۳۷*	۰/۲۶*	۱					
BIO15	۰/۰۱	۰/۳۸**	۰/۵۲**	−۰/۵۰**	۰/۰۸	−۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۱۷	−۰/۰۴	−۰/۰۵	−۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۳۲*	−۰/۷۴**	۱				
BIO16	−۰/۵۲**	۰/۳۳**	۰/۳۲**	−۰/۳۷**	−۰/۱۷	−۰/۸۱**	۰/۲۶*	−۰/۳۷*	−۰/۴۹*	−۰/۴۹*	−۰/۴۹*	۰/۹۱**	۰/۹۹**	۰/۲۵*	۰/۳۳*	۱			
BIO17	−۰/۴۲**	−۰/۳۰*	−۰/۴۲**	۰/۲۰*	−۰/۳۰*	−۰/۴۱*	−۰/۱۳	−۰/۵۰**	−۰/۳۴*	−۰/۳۳*	−۰/۳۲*	۰/۳۶*	۰/۲۴*	۰/۹۴**	−۰/۷۷**	۰/۲۴*	۱		
BIO18	−۰/۴۱**	−۰/۳۱**	−۰/۴۳**	۰/۲۱*	−۰/۳۰*	−۰/۳۹*	−۰/۱۳	−۰/۴۹*	−۰/۳۳*	−۰/۳۲*	−۰/۳۱*	۰/۳۵*	۰/۲۲*	۰/۷۴**	−۰/۷۸*	۰/۲۲*	۰/۹۹**	۱	
BIO19	۰/۲۴*	۰/۰۱	−۰/۰۵	۰/۳۵**	۰/۱۹*	۰/۲۳*	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۲۶*	۰/۲۶*	۰/۱۱	−۰/۱۱	−۰/۱۸	۰/۰۶	−۰/۲۲*	−۰/۱۹*	۰/۰۸	۰/۰۸	۱

* معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و ** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

منابع مورد استفاده

1. Akbarpour Yasaghi, H. 1995. Study of ecological properties of *Artemisia aucheri* in Gorgan region and plain, MSc Thesis. Gorgan Agricultural and Natural Resources University. Gorgan, Iran. (In Farsi)
2. Alkabi, A., M. Basiri and M. Karimian Eghbal. 2002. The study of *Artemisia* spp. communities in arid and semi-arid regions in order to introduce vegetation degradation indices in central Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Researches* 8(1): 483-494. (In Farsi).
3. Allouche, O., A. Tsoar and R. Kadmon. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa, and the true skill statistics (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43(6): 1223-1232.
4. Araújo, M. B. and M. New. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecological Evolution* 22(1): 42-46.
5. Ardakani, M. R. 2014. Ecology. Tehran University Press, Tehran, 340 p. (In Farsi)
6. Bakkenes, M., J. Alkemade, F. Ihle, R. Leemans and J. Latour. 2002. Assessing the effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8: 390-407.
7. Beaumont, L. J., L. Hughes and M. Poulsen. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling* 186(2): 251-270.
8. Buisson, L., W. Thuiller, N. Casajus, S. Lek and G. Grenouillet. 2010. Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. *Global Change Biology* 16: 1145-1157.
9. Dadjou, S. 2016. Development of Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves under climate change, case study: Isfahan region. MSc Thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi)
10. Elith, J. and J. R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40: 667-697.
11. Evanglista, P. F. 2005. Computer intrusion detection through statistical analysis and prediction modeling. MSc Thesis. Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute. Troy, New York.
12. Feizi, M. T. and K. Shirani. 2017. Preparation of vegetation maps based on ecological-botanical studies (Case study: Isfahan Province). *Iranian Journal of Applied Ecology* 6(2): 83-96. (In Farsi).
13. Feizi, M. T., V. Alijani, Z. Jaberalansar, M. Khadaghol and K. Shirani. 2017. Recognition of Iran ecological zones; vegetation types of Isfahan province. Institute of Forest and Rangeland Research, Tehran, Iran, 290 p. (In Farsi).
14. Franklin, J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press, Cambridge. 320 p.
15. Ghahreman, A. 1989-2000. Color Atlas of Iranian Flora. Research Institute of Florists and Rangelands publishing, Tehran, 126 p.(In Farsi)
16. Guisan, A. and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135(2-3): 147-186.
17. Guisan, A. and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
18. Haidarian Aghakhani, M. 2017. Prediction of climate change effects on spatial distribution of ecological important plant species in central Zagros. Ph.D Thesis. Sari Agricultural and Natural Resources University. Sari, Iran. (In Farsi)
19. Hijmans, R. J., S. E., Cameron, J. L., Parra, P. G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
20. Hosseini, S. Z., M. Kappas, M. A. Zare Chahouki, G. Gerold, S. Erasmi and A. Rafiei Emam. 2013. Modelling potential habitats for Artemisia sieberi and Artemisia aucheri in Poshtkouh area, central Iran using the maximum entropy model and geostatistics. *Ecological Informatics* 18: 61-68.
21. IPCC. 2013. Climate change. p. 1535. *In*: Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (Eds.), The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
22. Jafari, R., H. Bashari and M. Tarkesh. 2017. Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands. *Arid Land Research Management* 31: 94-110.
23. Mohammadi, E., H. Yazdanpanah and F. Mohammadi. 2014. Investigation the climate change event and its effect on cultivation time and length of growing period of wheat (rainfed), case study: Sararoud station of Kermanshah. *Natural Geography Research* 46(2): 231-246. (In Farsi).
24. Molaei Shamasbi, M., A. Ghorbani, K. Sefidi, B. Bahrami and K. Hashemi Majd. 2017. Ecological factors affecting the distrinution of *Artemisia sieberi* Boiss. in southeast slopes of Sabalan. Rangeland 11(2): 139-151. (In Farsi)
25. Moloodi, G., A. Khoorani and A. Moradi. 2016. The effect of climate change on heat waves of Northern coasts of Persian Gulf. *Spatial Analysis of Natural Hazards* 3(1): 1-14. (In Farsi).

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

26. Mozafarian, V., 2000. Yazd flora. Yazd University Publications, Yazd, Iran, 636 p. (In Farsi)
27. Pal, J. S. and E. A. B. Eltahir. 2015. Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature Climate Change* 6: 197-200.
28. Pliscoff, P., F. Luebert, H. Hilger and A. Guisan. 2014. Effects of alternative sets of climatic predictors on species distribution models and associated estimates of extinction risk: A test with plants in an arid environment. *Ecological Modelling* 288: 166-177.
29. Priti, H., N. A. Aravind, R. U. Shaanjer and G. Ravikanth. 2016. Modeling impacts of future climate on the distribution of Myristicaceae species in the Western Ghats, India. *Ecological Engineering* 89: 14-23.
30. Rapacciuolo, G., D. B. Roy, S. Gillings, R. Fox, K. Walker and A. Purvis. 2012. Climatic associations of British species distributions show good transferability in time but low predictive accuracy for range change. *PLoSOne* 7(7): e40212.
31. Rinawati, F., K. Stein and A. Lindner. 2013. Climate change impacts on biodiversity- the setting of a lingering global crisis. *Diversity* 5: 114-123.
32. Sangooni, H., M. R. Vahabi, M. Tarkesh, H. R. Eshghizadeh and S. Soltani. 2017. Determination climatic characteristics of ecosystem and geographic distribution of two rangeland species using random forest modeling in central Zagros region. *Plant Ecosystem Conservation* 5(10): 1-18. (In Farsi).
33. Sangooni, H., M. R. Vahabi, M. Tarkesh and S. Soltani. 2016. Range shift of *Bromus tomentellus* Boiss. as a reaction to climate change in central Zagros, Iran. *Applied Ecology and Environmental Research* 14(4): 85-100.
34. Stohlgren, T. J., P. Ma, S. Kumar, M. Rocca, J. T. Morisette, C. Jarnevich and N. Benson. 2010. Ensemble habitat mapping of invasive plant species. *Risk Analysis* 30(2): 224-235.
35. Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
36. Tanaka, N., K. Nakao, I. Tsuyama and M. Higa. 2012. Predicting the impact of climate change on potential habitats of fir (Abies) species in Japan and on the East Asian continent. *Procedia Environmental Sciences* 13: 455-466.
37. Taylor, S. and L. Kumar. 2013. Potential distribution of an invasive species under climate change scenarios using CLIMEX and soil drainage: A case study of *Lantana camara* L. in Queensland, Australia. *Journal of Environmental Management* 114: 414-422.
38. Tsoar, A., O. Ahhouche, O. Steinitz, D. Rotem and R. Kadmon. 2007. A comparative evaluation of presence-only methods for modeling species distribution. *Diversity and Distributions* 13(4): 397-405.
39. Wilson, C. D., D. Roberts and N. Reid. 2011. Applying species distribution modelling to identify areas of high conservation value for endangered species: a case study using *Margaritifera margaritifera* (L.). *Biological Conservation* 144: 821-829.
40. Xu C. H. and Y. Xu. 2012. The projection of temperature and precipitation over China under RCP scenarios using a CMIP5 Multi-Model Ensemble. *Atmospheric and Oceanic Science Letters* 5(6): 527-533.
41. Yaghmaei, L., S. Soltani and M. Khodagholi. 2009. Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods. *International Journal of Climatology* 29: 1850-1861.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Predicting the Climatic Ecological Niche of *Artemisia aucheri* Boiss in Central Iran using Species Distribution Modeling

M. Amiri[1], M. Tarkesh[1*] and R. Jafari[1]

(Received: January 08-2019; Accepted: August 10-2019)

Abstract

Changes in the geographical distribution of plants are one of the major impacts of the climate change. This study was aimed to predict the potential changes in the distribution of *Artemisia aucheri* Boiss in Isfahan rangelands. Therefore, six bioclimatic variables and two physiographic variables were used under the Generalized Linear Model (GLM), Flexible Denotative Analysis (FDA), Surface Range Envelope (SRE), Random Forest (RF), and Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS), as well as in an ensemble model framework. Among the environmental factors, the mean temperature of the coldest quarter and the mean annual precipitation played the most important role or exhibited relative importance in model fitting. Based on the model evaluation, the ensemble model and then MARS presented the most accurate prediction in the determination of the climatic habitat. There was also a significant difference between area under curve (AUC) of the SRE model with a good performance and other models with a high performance. The maximum presence of the species occurred at the 2000-3000 m elevation and the 100-250 mm annual precipitation. In both CCSM4 and MPI-ESM-LR climatic models, the highest amount of habitat displacement is likely to happen under the RCP8.5 scenario in 2070, while the lowest amount may happen under the RCP2.6 scenario in 2050. Also, the habitat of species will be displaced more in 2070 than in 2050. The results of this study can be used to prioritize conservation measures or species introduction into areas with similar ecological conditions.

Keywords: Climate change, Climatic biome, Ensemble model, World climate database

1. Dept. of Range and Watershed Manag., Faculty of Natur. Resour., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran
*: Corresponding Author, Email: m_tarkesh@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1398.8.2.1.4]
[DOI: 10.29252/ijae.8.2.61]