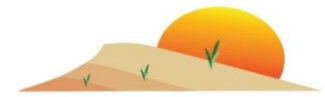


نشریه مدیریت بیابان

www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

پیش‌بینی پراکنش گونه *Artemisia sieberi* Besser تحت تأثیر تغییر اقلیم در مراتع استپی و نیمه‌استپی ایران - تورانی

محدثه امیری^{۱*}، مصطفی ترکش^۲، رضا جعفری^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
 ۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
 ۳. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- * نویسنده مسئول: mohaddesch.amiri@na.iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۵

چکیده

درک تأثیر تغییر اقلیم روی پراکنش گونه‌های گیاهی برای مدیریت و حفاظت پایدار از مراتع به ویژه در بوم نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که به دلیل حساسیت و شکنندگی در برابر تغییرهای اقلیمی، به سادگی در معرض بیابانی شدن قرار می‌گیرند، ضروری است. به دلیل پیچیدگی سامانه‌های طبیعی و پدیده تغییر اقلیم، برای درک تأثیر تغییر اقلیم بر آشیان بالقوه گونه‌ها مدل‌های پراکنش گونه‌ای به کار می‌روند. در بررسی حاضر از پنج خوارزمیک (الگوریتم) مدل‌سازی از قبیل شبکه عصبی مصنوعی، بوستینگ تعمیم‌یافته، تحلیل طبقه‌بندی درختی، رگرسیون تطبیقی چند متغیره و بیشینه بی‌نظمی برای پیش‌بینی پراکنش فعلی و آینده گونه *Artemisia sieberi* Besser در منطقه ایران مرکزی استفاده شد. پس از ایجاد مدل اجماعی به صورت میانگین احتمال پیش‌بینی شده پراکنش حاصل از مدل‌های مجزا، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بدبینانه و خوش‌بینانه مدل‌های اقلیمی CCSM4 و NorESM1-ME مربوط به سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ برای بررسی روند تغییرات زمانی-مکانی پراکنش ارزیابی شد. برای این منظور لایه‌های عوامل محیطی شامل ۶ متغیر زیست اقلیمی و دو متغیر فیزیوگرافی به عنوان ورودی مدل‌های پراکنش گونه‌ای به کار رفت. از بین متغیرهای محیطی، ارتفاع، مجموع بارندگی سالانه، شاخص ایزوترمالیته و شیب بیشترین تأثیر را در تناسب رویشگاه گونه داشتند. ارزیابی مدل‌سازی نشان داد که مدل بوستینگ تعمیم یافته نسبت به سایر مدل‌ها و پیش‌بینی اجماعی نسبت به مدل‌های مجزا پیش‌بینی درست تری برای تعیین رویشگاه اقلیمی داشت. بیشترین احتمال حضور گونه در مناطق دشتی و کم شیب با ارتفاع ۲۰۰۰-۱۰۰۰ متر و بارندگی سالانه ۲۰۰-۱۰۰ میلی‌متر است. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم نشان داد که در سال ۲۰۷۰ نسبت به ۲۰۵۰، رویشگاه گونه به مقدار زیادتری کاهش خواهد یافت که گسترش مناطق بیابانی را به دنبال خواهد داشت. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های حفظ رویشگاه درمنه دشتی از بیابانی شدن و همچنین احیاء و بازسازی آن در بخش وسیعی از کشور به کار رود.

واژگان کلیدی: بیابانی شدن؛ مدل‌سازی آشیان اکولوژیک؛ سناریوی انتشار؛ تناسب رویشگاه؛ نقشه اجماعی

■ مقدمه

ممکن است به دلیل تفاوت‌هایی در الگوریتم‌ها و فرضیه‌های مدل یا اختلافات در احتیاجات داده‌ای خاص مثلاً نیاز به فقط داده حضور یا نیاز به داده‌های حضور-عدم حضور، نتایج متفاوتی را ارائه کنند. در این شرایط، استفاده از ترکیبی از این مدل‌ها بجای تکیه به خروجی-های حاصل از یک مدل مجزا پیشنهاد می‌شود. در مدل اجماعی یا مدل ترکیبی عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های منحصر به فرد می‌تواند با بررسی همزمان نتایج چندین مدل کاهش یابد (۵).

برای بررسی عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی در فضای جغرافیایی در نتیجه تغییر اقلیم تا کنون بررسی‌های گسترده‌ای صورت گرفته که می‌توان به ذکر چند مورد اشاره داشت. نتایج مدل‌سازی برای پیش‌بینی پراکنش گیاه دارویی در معرض خطر *Homonoia riparia* Lour. در چین نشان داد که شایستگی زیستگاه این گونه با گرمایش جهانی افزایش می‌یابد (۳۹). پیش-بینی پراکنش درمنه دشتی در استان اصفهان با رگرسیون لوجستیک مشخص کرد که حداقل دمای سردترین ماه، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل، بارش سالانه و بارندگی در سردترین فصل بیشترین تأثیر را در پراکنش گونه داشتند. مدل‌های اقلیمی حاکی از کاهش فضای اقلیمی مناسب گونه بودند و این کاهش در سال ۲۰۸۰ نسبت به سال ۲۰۳۰ بیشتر بود (۲۸). در پژوهشی دیگر برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش *Daphne mucronata* Royle در مراتع استان اصفهان از مدل حداکثر آنتروپی استفاده شد، نتایج نشان داد که گونه تا سال ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ در مناطقی با ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر ناپدید خواهد شد، در ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر بدون تغییر خواهد ماند، اما بین این دو محدوده ارتفاعی دستخوش تغییرات شدیدی می‌شود (۱). در مطالعه‌ای از مدل پیشینه بینظمی (آنتروپی) برای مدل‌سازی تأثیر تغییر اقلیم آینده بر روی پراکنش گیاهان خانواده Myristicaceae در هندوستان استفاده شد. نتایج نشان داد که زیستگاه گیاهان مردابی این خانواده بیشتر تأثیر از تغییر اقلیم هستند، به گونه‌ای که تغییر اقلیم می‌تواند تهدیدی جدی برای زنده‌مانی این گونه‌ها در آینده باشد (۳۱). مدل‌سازی تأثیر بالقوه تغییر اقلیم بر پراکنش گونه

صنعتی شدن جوامع، افزایش گازهای گلخانه‌ای طی چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن، موجب به هم خوردن تعادل سامانه اقلیمی کره زمین شده و تغییرات گسترده‌ای را در متغیرهای اقلیمی در بیشتر نواحی کره زمین به وجود آورده است. طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم ۱ در سال ۲۰۱۳، طی دوره صد ساله منتهی به سال ۲۰۰۵، دمای متوسط جهانی به میزان ۰/۷۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (۱۶). این افزایش دما در ایران معادل ۴/۵-۱/۵ درجه سانتیگراد است که موجب تغییراتی در الگوهای بارندگی و درجه حرارت، منابع آب، بالا آمدن سطح آب دریا، افزایش شدت و تکرار خشکسالی و بیابانزایی می‌گردد (۴). فرضیه‌های مختلفی به عنوان عامل‌های مؤثر بر تغییر اقلیم و بیابانزایی مطرح شده‌اند که نتیجه همه این فرضیه‌ها، تغییر متغیرهای دما و بارش است. با تغییر مؤلفه‌های اقلیمی به عنوان بخشی از فضای چند بعدی آشیان اکولوژیک، گونه مکان حضور فعلی خود را در جستجوی شرایط مطلوب قبلی از دست می‌دهد و همین موضوع موجب جابجایی محدوده جغرافیایی آن می‌گردد. علاوه بر تغییر در محدوده پراکنش، از دیگر پیامدهای تغییر اقلیم می‌توان به تغییر در فنولوژی و فیزیولوژی گونه‌ها و کاهش تولید اشاره نمود (۳۳، ۳۴). لذا شناسایی وضعیت موجود در اکوسیستم‌های مرتعی و پایش پراکنش پوشش گیاهی به منظور مدیریت بهینه و بهره‌برداری پایدار از آنها، امری ضروری است. به دلیل پیچیدگی سیستم‌های طبیعی و پدیده تغییر اقلیم، به منظور شناخت و درک تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر آشیان بالقوه گونه‌ها و نیز ارزیابی استراتژی‌های سازگاری با این تغییرات، از مدل‌های پراکنش گونه‌ای استفاده می‌شود. مدل‌های پراکنش گونه-ای، ابزار مهمی در این ارتباط بوده که موجب کمیت-سنجی روابط گونه-محیط و استفاده از این روابط برای پیش‌بینی پراکنش‌های مکانی می‌شوند (۳۰). اما رویکردهای مختلف مدل‌سازی حتی با استفاده از همان مجموعه مشاهدات میدانی و لایه‌های متغیرهای مستقل،

^۱ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

■ مواد و روش‌ها

منطقه و گونه مورد مطالعه

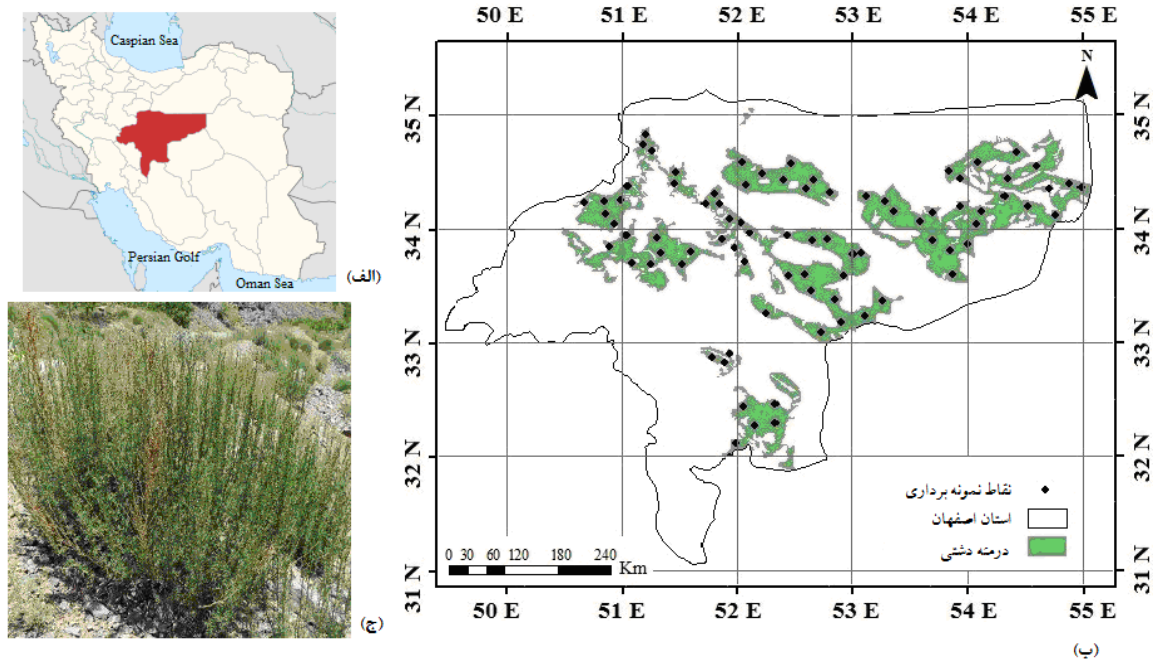
استان اصفهان با مساحتی معادل ۱۰۷۰۴۵ کیلومتر مربع در بخش مرکزی ایران و بین عرض جغرافیایی ۳۰° ۴۲' تا ۳۴° ۲۷' شمالی و طول جغرافیایی ۴۹° ۳۸' تا ۵۵° ۳۲' شرقی واقع شده است. اقلیم منطقه از نوع خشک و نیمه‌خشک و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۶۰ میلی‌متر با پراکنش زمانی و مکانی متغیر است که عمده بارش‌ها در غرب منطقه و از آذر تا فروردین اتفاق می‌افتد. دامنه درجه حرارت مطلق در استان در فصل تابستان بین ۹/۶ تا ۴۱ درجه سانتیگراد و در زمستان بین ۲۴/۴ تا ۱۳/۲- درجه سانتیگراد می‌باشد. مساحت مراتع استان، ۶۳۲۸۶ کیلومتر مربع و دارای ۶۹ تیپ گیاهی می‌باشد (۱۸). یکی از این تیپ‌ها، تیپ درمنه دشتی می‌باشد که در تمام سطح استان به استثنای بخش کوچکی از مناطق غربی و جنوبی که دارای اقلیم سرد و مرطوب، و نیمه-مرطوب و سرد هستند، گسترش یافته است (شکل ۱).

گونه *Artemisia sieberi* Besser از گونه‌های مهم مراتع قشلاقی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران با کاربرد علوفه‌ای، دارویی، صنعتی و حفاظت خاک می‌باشد. این گیاه عملکرد ضد التهابی، تب‌بر، خاصیت ضد باکتریایی، ضد ویروسی، ضد قارچی و آنتی‌اکسیدانی دارد و ترکیبات آن در تسکین سرد درد و دردهای روماتیسمی کاربرد دارند (۲). در صنایع غذایی برای از بین بردن عوامل بیماری‌زا با منشاء غذایی به کار می‌رود. همچنین اسانس موجود در آن خاصیت دورکنندگی از حشرات دارد که این خاصیت با افزایش غلظت اسانس ارتباط مستقیمی دارد (۲۵). رویشگاه‌های این گونه در تمامی طبقه‌های شایستگی، ۶۳/۵ درصد از سطح استان اصفهان و حدود ۲۳ درصد از مساحت ایران را در مناطق استپی می‌پوشانند (۲۸). این گونه بوته‌ای که پوشش غالب منطقه ایران- تورانی و شاخص زیرمنطقه استپی محسوب می‌گردد، در برابر شرایط سخت محیطی مقاوم بوده و دارای طیف وسیع بوم‌شناختی و جغرافیایی است. همچنین با توجه به سطح تاج پوشش نقش بسزایی در جلوگیری از اثرات مخرب ریزش باران و کاهش رواناب دارد (۶).

Astragalus gossypinus Fisher در بخش مرکزی ایران با مدل‌های لجستیک رگرسیون درختی و رگرسیون چندگانه غیر متغیری تحت دو برابر شدن دی‌اکسیدکربن، حاکی از این بود که در آینده از وسعت رویشگاه گونه کاسته و رویشگاه گونه به سمت شمال غرب جابجا خواهد شد (۳۵). استفاده از اجماع مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، افزایشی تعمیم‌یافته، بوستینگ تعمیم‌یافته، جنگل تصادفی و درخت طبقه‌بندی در پیش‌بینی پراکنش ۱۴۵ گونه گیاهی تحت تغییر اقلیم در کالیفرنیا نشان داد که مدل اجماعی بیشترین صحت را دارد (۹).

در سناریوهای تغییر اقلیم، سناریوی انتشار RCP2.6 در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. برای رسیدن به کمترین سطح واداشت تابشی گازهای گلخانه‌ای باید به میزان قابل توجهی کاهش یابند. در سناریوی انتشار RCP8.5 واداشت تابشی و غلظت دی‌اکسیدکربن بدون اتخاذ هیچگونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، افزایش خواهد یافت (۱۶). CCSM4 نسخه چهارم مدل سامانه جامع اقلیم و مدل تدوین شده مرکز پژوهش‌های هواشناسی آمریکا است که از پنج مدل جداگانه اتمسفری، اقیانوسی، زمینی، زمین- یخ و دریا- یخ، به اضافه یک مؤلفه ترکیبی مرکزی تشکیل شده است (۲۲). NorESM1-ME مدلی بر پایه مدل CCSM4 می‌باشد که در کشور نروژ توسعه یافته است. این مدل دارای قدرت تفکیک افقی معادل ۲ درجه برای اتمسفر و مؤلفه‌های زمینی و ۱ درجه برای اقیانوس‌ها و یخچال‌ها می‌باشد (۷).

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر عوامل محیطی بر پراکنش گونه درمنه دشتی با نام علمی *Artemisia sieberi* Besser و جایجایی میدان اکولوژیک یا رویشگاه آن در اثر تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای است. بررسی توانایی مدل اجماعی پراکنش گونه‌ای نسبت به مدل‌های مجزا برای کشف روابط بین گونه و عوامل محیطی و در نتیجه تعیین مقدار و جهت جابجایی محدوده مکانی گونه‌ها تحت سناریوهای انتشار RCP2.6 و RCP8.5 مدل‌های اقلیمی CCSM4 و NorESM1 از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.



شکل ۱. (الف) موقعیت استان اصفهان در ایران؛ (ب) پراکنش نقاط حضور گونه در استان اصفهان؛ و (ج) *Artemisia sieberi* Besser

لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای اقلیمی تهیه شد. در صورتیکه ضریب همبستگی میان دو متغیر بیش از ۰/۸ بود ($|r| > 0.8$)، با توجه به درجه اهمیت بوم‌شناختی متغیرها فقط یکی از آنها در فرآیند مدل‌سازی به کار رفت (۳۷). پس از حذف لایه‌های اقلیمی غیر ضروری با همبستگی زیاد از جدول ۳، تعداد ۶ متغیر زیست‌اقلیمی همچون: مجموع بارندگی سالانه، مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه، تغییرات فصلی بارندگی، شاخص ایزوترمالیته، تغییرات فصلی دما و حداقل دمای سردترین ماه به همراه دو متغیر فیزیوگرافی یعنی ارتفاع و شیب که از نظر اکولوژیک در روابط و فرآیندهای گونه-محیط نقش مهمی ایفا می‌کنند، به عنوان ورودی در فرآیند مدل‌سازی به کار رفتند.

روش نمونه‌برداری

در مطالعه حاضر، نمونه‌برداری در قالب اندازه پیکسل $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ و بر پایه ساختار فیزیونومی-فلورستیک یا سیماشناسی-گیاهشناسی، صورت گرفت. به منظور نمونه‌برداری مکان‌های حضور، ابتدا منطقه مورد مطالعه از تلفیق نقشه شیب، جهت و مدل رقومی ارتفاع و اضافه کردن نقشه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تیپ گیاهی (۱۷)، به تعدادی طبقه یا واحدهای همگن تقسیم شد. سپس در

انتخاب متغیرهای مستقل مدل

عامل‌های محیطی شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی از پایگاه اقلیم جهانی^۱ حاصل از درون‌یابی داده‌های دما و بارش سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۰ با تفکیک مکانی تقریباً یک کیلومتر مربع اخذ گردیدند (۱۴). این بازه زمانی شامل ترسالی و خشکسالی‌ها بود، همچنین این متغیرها در بسیاری از مطالعات مربوط به تأثیر اقلیم بر موجودات زنده مخصوصاً گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۳۸، ۳۱، ۱۹، ۱). سه متغیر فیزیوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت از مدل رقومی ارتفاعی^۲ SRTM با تفکیک‌پذیری ۹۰ متر نیز اخذ شدند. با توجه به اندازه سلول متغیرهای آب و هوایی که تقریباً معادل یک کیلومتر می‌باشد، تمامی لایه‌های محیطی با اندازه سلول متناسب با اندازه پیکسل مورد نظر یعنی با تفکیک‌پذیری یک کیلومترمربع تهیه و قبل از وارد شدن به مدل، همگن شدند، به عبارتی علاوه بر قدرت تفکیک، سامانه مختصاتی و تعداد پیکسل-های سطر و ستون آنها نیز برابر شد. طبق قاعده صرفه-جویی و همچنین کاهش مشکل‌های مرتبط با هم خطی بودن و برازش بیش از حد مدل^۳، ماتریس همبستگی

¹ Worldclim

² Shuttle Radar Topography Mission

³ Collinearity and Over-fitting

در مرحله پیش‌بینی مدل، هر یک از پنج روش مدل‌سازی یک نقشه خروجی تولید کردند که مقادیر پیوسته‌ای بین صفر تا یک داشتند که این احتمال منظور شد: الف- صفر زیستگاه نامناسب؛ و ب- یک زیستگاه مناسب برای گونه است.

جهت ارزیابی کیفیت کلی مدل‌ها و نقشه‌های تولیدی، آماره‌های استخراج شده از ماتریس خطا^۶ به کار رفتند. صحت مدل با استفاده از آماره سطح زیر منحنی (AUC) محاسبه شد. به طور رایج مقادیرهای AUC بزرگتر از ۰/۹ صحت بالا، مقادیر ۰/۷-۰/۹ صحت خوب و ۰/۷-۰/۷ (تصادفی) صحت اندک را نشان می‌دهند.

علاوه بر AUC، احتمال وقوع با استفاده از رویکرد برابری حساسیت-ویژه‌انگاری^۷ به منظور انتخاب آستانه‌های مناسب برای پیش‌بینی هر مدل به پیش‌بینی-های دوتایی حضور-عدم حضور تبدیل شد. با استفاده از این پیش‌بینی‌ها، شاخص‌های TSS^۸، حساسیت و ویژه-انگاری نیز به دلیل ارزش آماری‌شان به ترتیب بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ بررسی شدند (۳):

$$TSS = \frac{ad - bc}{(a + c)(b + d)} = (Sen. + Spe.) - 1 \quad (1)$$

در این رابطه TSS از -۱ تا +۱ تغییر می‌کند، که +۱ توافق کامل، و مقادیر صفر یا منفی کارایی را نشان می‌دهند که از حالت تصادفی بهتر نیستند (۲).

$$Sen. = \frac{a}{a + b}, \quad Spe. = \frac{d}{d + c} \quad (2)$$

در روابط فوق Sen. معرف شاخص حساسیت و Spe. معرف شاخص ویژه‌انگاری هستند. شاخص حساسیت، قدرت مدل در تشخیص مناطقی را نشان می‌دهد که گونه در آنها دیده می‌شود. در مقابل، شاخص ویژه‌انگاری حاکی از قدرت مدل در تشخیص مناطقی است که گونه در آنجا حضور نداشته است. a مقادیری که هم در واقعیت و هم

هر کدام از این مناطق همگن که پراکنش جغرافیایی گونه از نظر فیزیونومی به نسبت قابل توجه بوده و طبقه-های مختلف سنی گیاه قابل مشاهده بود، مختصات آن با جی‌پی‌اس به عنوان نقطه حضور گونه ثبت گردید (شکل ۱-ب)، سایر مناطق که گونه در آن حضور نداشته به عنوان نقطه غیاب، و مناطق با حضور کم گونه نیز به عنوان نقاط غیاب کاذب در نظر گرفته شدند. در مجموع، تعداد ۲۵۰ نقطه حضور و ۲۵۰ نقطه غیاب برای گونه به صورت تصادفی-طبقه‌بندی شده در سطح منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. ساخت و واسنجی مدل‌ها با انتخاب تصادفی ۷۵٪ از داده‌های حضور و ارزیابی و صحت‌سنجی آنها با ۲۵٪ باقیمانده داده‌ها صورت گرفت (شکل ۲).

مدلسازی و ارزیابی مدل

طبق نتایج بررسی‌های اخیر مقایسه مدل و چندین مطالعه ابوم‌شناختی، پنج نوع از بهترین مدل‌ها که در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای کاربرد وسیعی داشته و دامنه وسیعی از رویکردهای تحلیلی را نشان می‌دهند، شامل شبکه عصبی مصنوعی^۱ (۱۳)، روش بوستینگ تعمیم یافته^۲ (۲۶)، آنالیز طبقه‌بندی درختی^۳ (۸)، رگرسیون تطبیقی چند متغیره^۴ (۱۲)، و بیشینه بی‌نظمی (آنتروپی)^۵ (۲۹) انتخاب شدند. برای افزایش دقت، مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار در بسته biomod2 نرم‌افزار آماری-برنامه‌نویسی R اجرا شدند و مدل پایانی حاصل جمع‌بندی این ده بار اجرا ارائه گردید. از دیگر بسته‌های به کار رفته در مطالعه حاضر، rgdal و sp، raster، dismo، maptools، java و rgdal می‌باشند. از این بسته‌ها برای فراخوانی فایل رقومی نقاط حضور و عدم حضور و پیش‌پردازش نقشه‌های رستری در محیط نرم‌افزار R استفاده شد. در واقع این بسته‌های کمکی با استفاده از خط-فرمان‌های اختصاصی به یکدیگر متصل شدند تا بتوانند مدل‌های مذکور را با داده‌های منطقه و گونه مورد مطالعه اجرا کنند.

¹ Artificial Neural Network: ANN

² Gradient Boosting Machine: GBM

³ Classification Tree Analysis: CTA

⁴ Multivariate Adaptive Regression Spline: MARS

⁵ Maximum Entropy: Maxent

⁶ Confusion matrix

⁷ Sensitivity- Specificity

⁸ True Skill Statistic

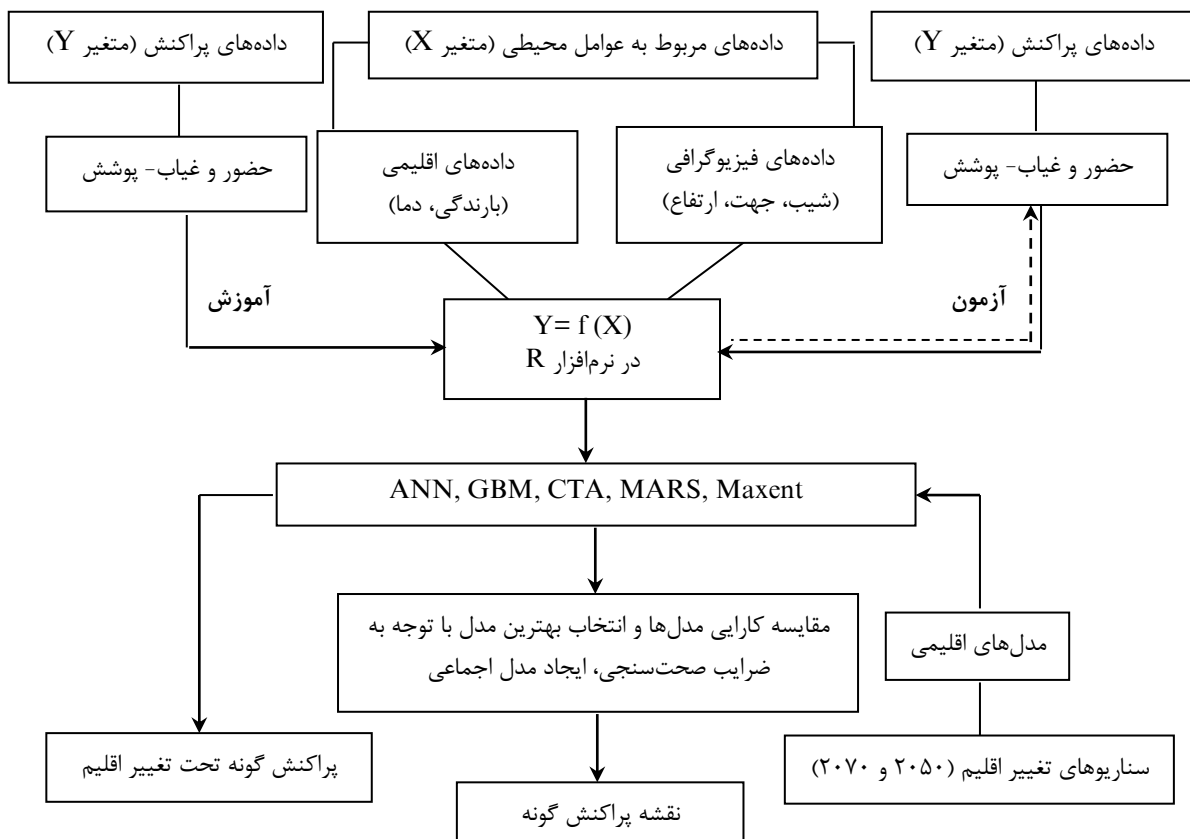
مقایسه کارایی مدل‌ها با انجام آزمون مقایسه میانگین توکی بین مقادیر AUC حاصل از ده بار اجرای مدل‌های مجزا صورت گرفت. این آزمون پس از رد فرض صفر در تجزیه واریانس، به بررسی تفاوت معنی‌دار بین جفت میانگین‌ها می‌پردازد. مقدار بحرانی برای مقایسه اختلاف میانگین‌ها از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$q_{\alpha}(a, f) \sqrt{\frac{MSE}{n}} \quad (3)$$

که در آن a تعداد تیمار، f درجه آزادی، MSE میانگین مربعات خطای بدست آمده در آزمون تجزیه واریانس می‌باشد. آزمون توکی برای تمام مقایسه‌های دو به دو دارای خطای نوع اول یا α است.

در مدل وجود دارد و مدل آن را به عنوان حضور ثبت می‌کند، b مقادیری که فقط در مدل دیده می‌شود اما عملاً در دنیای واقعی دیده نمی‌شود، c مقادیری که در واقعیت وجود دارد اما در مدل دیده نمی‌شود. مقادیر b و c به عنوان خطای مدل ثبت می‌شوند و d مقادیری است که نه در مدل وجود دارد و نه در واقعیت دیده می‌شود و مدل آن را به عنوان عدم حضور ثبت می‌کند (۳۶).

برای ارائه یک نقشه نهایی از حضور گونه، از روش اجماع بین مدل‌های به کار رفته استفاده شد. با محاسبه میانگین وزنی نقشه‌های پراکنش حاصل از پنج مدل مجزا بر اساس AUC، نقشه اجماع یافته بدست آمد. در نقشه اجماعی، ارزش پیکسل برابر صفر نشان می‌دهد که هیچ یک از روش‌های مدل‌سازی آن سطح را به عنوان زیستگاه مناسب تعیین نمی‌کنند، در حالیکه عدد یک نشان می‌دهد که تمامی تکنیک‌های مدل‌سازی آن سطح را به عنوان زیستگاه مناسب و شایسته در نظر می‌گیرند.



شکل ۲. روند نمای مراحل انجام پژوهش

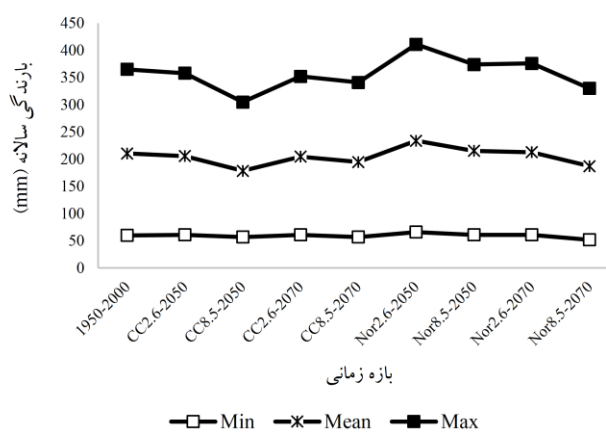
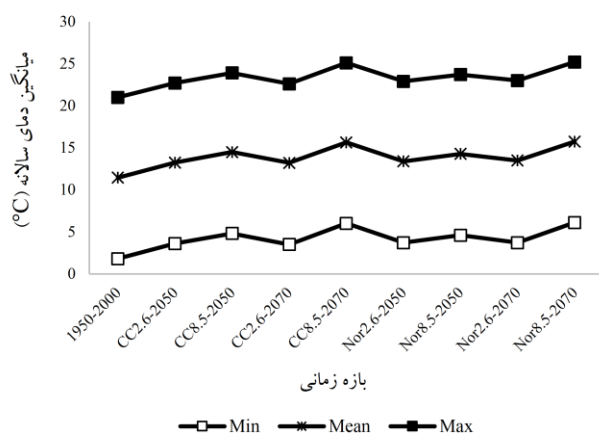
رویکردهای مختلف مدل‌سازی نیز حاکی از این می‌باشد که صحت پیش‌بینی بین الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی می‌تواند اساساً متفاوت باشد (۲۰، ۱۰). بر اساس معیارهای صحت‌سنجی، بین مدل‌های مجزا، مدل بوستینگ تعمیم یافته و پس از آن مدل‌های رگرسیون تطبیقی چند متغیره و بیشینه بی‌نظمی بیشترین کارایی را برای تعیین رویشگاه اقلیمی گونه داشتند. به عبارت دیگر این روش‌ها خطای کمتری در تعیین مناطق مناسب و نامناسب اقلیمی برای حضور گونه داشتند. همچنین معیارهای صحت‌سنجی در پیش‌بینی اجماعی، نسبت به تمام الگوریتم‌های مجزای مدل‌سازی میانگین بیشتری را به خود اختصاص دادند. در واقع مدل اجماع یافته، موجب افزایش کارایی مدل‌های مورد بررسی شد که با نتایج برخی مطالعات مطابقت دارد (۳۴، ۹). پژوهش‌های دیگر نیز استفاده از مدل اجماعی را به منظور پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای تحت سناریوهای تغییر اقلیم پیشنهاد دادند (۳۲، ۵). دلیل استفاده از مدل اجماعی در مطالعه حاضر، اعتباربخشی به نتایج و کاهش عدم قطعیت‌های مدل‌های مجزا می‌باشد، زیرا هر مدل با وجود توانایی و نقاط قوتی که دارد، دارای یک سری نقاط ضعف نیز هست. البته کارایی روش اجماع زمانی بیشینه است که تمامی مدل‌های به کار رفته در آن از دقت و صحت بالایی برخوردار باشند، چون در غیر این صورت ضعف یک مدل موجب پایین آمدن کارایی سایر مدل‌ها می‌شود (۵).

مدل‌سازی تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی آینده

وضعیت پراکنش آینده گونه در آینده با استفاده از مدل‌های CCSM4 و NorESM1-ME با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر مربع که از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین مدل‌های گردش عمومی جو در خاورمیانه محسوب می‌شوند (۲۷) و تحت دو سناریوی مختلف IPCC برای سال‌های ۲۰۵۰، که میانه سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ می‌باشد و ۲۰۷۰ بعنوان میانه سال‌های ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تعیین شد. تغییرات حداقل، حداکثر و میانگین دما و بارش در استان اصفهان با مدل‌ها و سناریوهای فوق نسبت به حالت نرمال یعنی بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۰، در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. پس از تهیه نقشه پراکنش تحت این سناریوها و مدل‌های اقلیمی، اختلاف بین نقشه‌های اجماعی، مبنای تعیین مقدار و جهت جابجایی رویشگاه گونه در نظر گرفته شد. به این ترتیب که با تهیه کردن خروجی‌های مدل برای حال حاضر و مقایسه آن با خروجی مدل حاصل از سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰، میزان تأثیرپذیری گونه مورد مطالعه از تغییرات اقلیمی و تغییر در وسعت مناطق بیابانی بررسی شد (شکل ۲).

نتایج و بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی از نظر کارایی با هم متفاوت بوده و می‌توانند منجر به پیش‌بینی‌های مختلفی از پراکنش‌های گونه‌ای شوند، چنانچه شواهدی پیرامون مقایسه



شکل ۳. منحنی‌های تغییر متغیرهای درجه حرارت و بارندگی در مدل‌ها و سناریوهای مختلف اقلیمی

جدول ۱. میانگین مقادیر صحت‌سنجی مدل‌ها در بررسی پراکنش مکانی *Artemisia sieberi* Besser

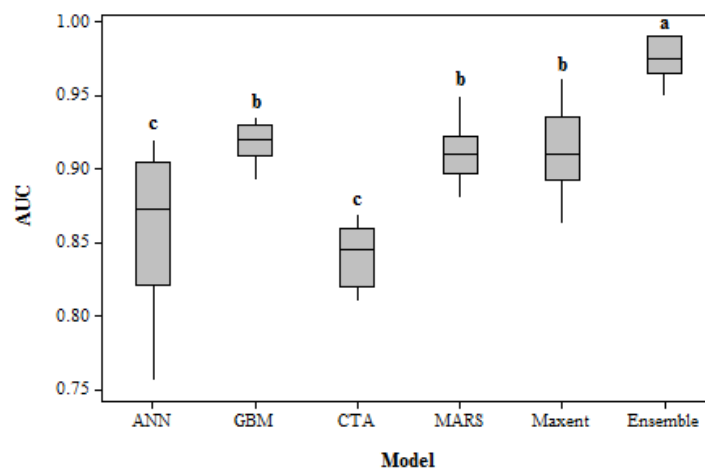
مدل	حداکثر	آنالیز طبقه‌بندی	بوستینگ	شبکه عصبی	معیار مستقل از آستانه
اجماعی	آنتروپی	رگرسیون تطبیقی چندمتغیره	تعمیم‌یافته	مصنوعی	AUC
۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۸۶
۸۹/۲	۹۴/۱۹	۹۳/۰۶	۹۰/۳۲	۹۳/۸۷	۹۳/۳۸
۹۰/۹۳	۷۴/۱۴	۷۴/۰۶	۷۰/۰۵	۷۴/۴۱	۶۸/۰۶
۰/۸۰	۰/۶۸	۰/۶۷	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۶۲
					Sensitivity
					Specificity
					TSS

پایه نتایج تحلیل حساسیت در خروجی مدل داشته‌اند برای هر یک از مدل‌های برآزش داده شده در جدول ۲ گزارش شد. ترتیب اهمیت متغیرها در مدل‌های مختلف یکسان نمی‌باشد، زیرا همانگونه که قبلاً اشاره شد ماهیت مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه از نوع همبسته می‌باشد، یعنی برای بدست آوردن بهترین پیش‌بینی از مکان‌های حضور گونه به کار می‌روند؛ عواملی که به عنوان عوامل مهم در بررسی پراکنش گونه معرفی می‌شوند الزاماً با حضور گونه رابطه علت و معلولی ندارند و صرفاً عواملی هستند که دقت پیش‌بینی مدل را افزایش می‌دهند.

در تمامی مدل‌ها متغیر مجموع بارندگی سالانه (BIO12) اثر تعیین کننده بر استقرار و پراکنش درمنه دشتی و مطلوبیت رویشگاه آن داشته است، به گونه‌ای که به تنهایی حدود ۵۴ درصد تغییرات را توجیه نموده است.

نتایج آزمون توکی نشان داد که مدل آنالیز طبقه‌بندی درختی با مدل شبکه عصبی مصنوعی، و همچنین مدل‌های بوستینگ تعمیم‌یافته، رگرسیون تطبیقی چند متغیره و حداکثر آنتروپی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. مدل اجماعی با تمامی مدل‌ها دارای اختلاف معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (شکل ۴).

مشکل‌های بالقوه مربوط به اعتماد به مقدارهای AUC را می‌توان با پیش‌بینی شایستگی زیستگاه برای یک گونه منفرد در یک زمان با وسعت یکسان به کمترین مقدار رساند. انتخاب مدل‌هایی که در پژوهش‌های قبلی مقایسه مدل کارایی خوبی داشتند، و حذف متغیرهای با همبستگی بالا قبل از آزمون کردن مدل نیز از جمله اقدامات لازم به منظور کاهش این عدم اعتماد می‌باشند (۲۱)، که در بررسی حاضر نیز این سه اصل رعایت شد. اهمیت یا سهم نسبی هر یک از متغیرهای محیطی مورد استفاده در فرآیند مدل‌سازی یا مقدار تأثیری که بر



شکل ۴. نمودار جعبه‌ای و مقایسه میانگین مقادیر AUC مدل‌های مورد استفاده

پس از ارزیابی مدل‌ها منحنی عکس‌العمل گونه نسبت به مهمترین متغیرهای محیطی بر اساس مدل با بیشترین کارایی ترسیم و مقدار بهینه و دامنه بردباری اکولوژیک آن تعیین شد. در منحنی واکنش گونه، فاصله بین دو حد بالایی و پایینی از شرایط بوم‌شناختی یا محیطی، دامنه یا میدان بوم‌شناختی گونه نامیده می‌شود. بین این دو مرز، یک حد مطلوب یا بهینه وجود دارد که گونه در آن دارای بهترین عملکرد یا به عبارتی دارای بیشترین احتمال وقوع یا فراوانی است که همان مقدار مربوط به مُد منحنی عکس‌العمل می‌باشد. منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به مهمترین متغیرهای محیطی بر اساس مدل با بیشترین کارایی یعنی بوستینگ تعمیم یافته مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۵). منحنی پاسخ گونه درمنه دشتی به ارتفاع به صورت چوله‌دار می‌باشد. به گونه‌ای که بیشینه احتمال حضور آن در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا مشاهده می‌شود و بالاتر از این محدوده، حضور گونه کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ و بیشتر از ۳۰۰۰ متری گونه حضور ندارد. این یافته‌ها با نتایج حسینی و همکاران مطابقت دارد (۱۵). در پژوهشی نیز بیشترین احتمال وقوع درمنه دشتی در گرادیان ارتفاعی ۲۲۰۰-۱۹۰۰ متری ارتفاع از سطح دریا را یکی از عوامل اولیه در پراکنش آن عنوان کرده است (۲۳).

متغیر حداقل دمای سردترین ماه برای مدل شبکه عصبی مصنوعی، شیب برای مدل‌های بوستینگ تعمیم یافته، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی و بیشینه بی-نظمی، و مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه برای رگرسیون تطبیقی چند متغیره در درجه بعدی اهمیت قرار دارند و از متغیرهای مهم توصیف کننده عملکرد گونه و مؤثر بر رویشگاه آن می‌باشند. پس از متغیر بارندگی سالانه، متغیرهای شیب و ارتفاع بیشترین تأثیر را در پراکنش گونه در تمامی مدل‌ها داشتند. مطالعات مختلفی از بین عوامل توپوگرافی، عامل ارتفاع از سطح دریا را به دلیل تأثیر بر اقلیم منطقه از مهمترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه دانسته‌اند (۲۴، ۲۳، ۶).

نیمرخ یا پروفیل اقلیمی *Artemisia sieberi* Besser در اکوتیپ‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است. با توجه به این جدول، می‌توان گفت که این گونه نیاز دمایی نسبتاً زیاد و نیاز بارندگی کمتری دارد که این موضوع با یافته‌های مطالعات قبلی که رویشگاه‌های کم ارتفاع و دشتی را به عنوان مناطق مناسب برای این گونه معرفی کرده‌اند، مطابقت دارد (۱۱، ۱۵، ۲۳، ۴۰)، البته ممکن است در مناطقی خارج از این منطقه، گونه مورد مطالعه در شرایطی متفاوت با شرایط ارائه شده در این جدول حضور یابد.

جدول ۲. اهمیت نسبی (درصد مشارکت) متغیرهای محیطی در مدل‌های پراکنش مکانی *Artemisia sieberi* Besser

متغیر محیطی	شبکه عصبی مصنوعی	بوستینگ تعمیم یافته	آنالیز طبقه‌بندی رگرسیون تطبیقی درختی	بیشینه بی‌نظمی	میانگین سهم نسبی
ارتفاع	۸/۷۷	۴/۲۲	۹/۸	۷/۵۱	۶/۲۲
مجموع بارندگی سالانه	۴۲/۶	۶۱/۵	۵۳/۳۳	۵۷/۳۶	۵۴
مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه	۸/۴۳	۱/۱۵	۲	۵/۰۵	۷/۶۳
تغییرات فصلی بارندگی	۲/۴۱	۳/۴	۳/۴۴	۱/۲۹	۲/۲۱
شاخص ایزوترمالیتی	۰/۳۷	۱۰/۷	۱۱/۵	۱۰/۱۴	۸/۵۶
تغییرات فصلی دما	۷/۶۷	۱/۸۳	۲/۶۸	۲/۹۴	۳/۴۶
حداقل دمای سردترین ماه	۲۹/۲۸	۲/۴۵	۵/۰۸	۳/۳۲	۸/۳۵
شیب	۰/۵۲	۱۴/۷۵	۱۲/۱۷	۱۲/۴۲	۹/۵۷

جدول ۳. نیمرخ بیواقلمی *Artemisia sieberi* Besser بر پایه داده‌های حضور

متغیر (کد، واحد)	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
میانگین دمای سالانه (°C, BIO1)	۹/۵	۲۰/۳	۱۶/۴	۲۷/۷
میانگین دامنه دمای روزانه (°C, BIO2)	۱۴/۱	۱۶/۴	۱۵/۲	۴/۲
شاخص ایزوترمالیتی (BIO2/BIO7×100) (BIO3)	۳۳	۳۹	۳۶	۰/۹۷
تغییرات فصلی دما (SD×100) (BIO4)	۸۳۱/۴	۹۷۰/۷	۹۱۱/۸	۳۱/۳
حداکثر دمای گرمترین ماه (°C, BIO5)	۳۱/۶	۴۱/۲	۳۸/۱	۲۵/۳
حداقل دمای سردترین ماه (°C, BIO6)	۱۰	-۱۰/۶	-۳۲	۲۷/۴
دامنه تغییرات سالانه دما (°C, BIO7)	۳۸/۹	۴۳/۲	۴۱/۳	۹
دمای متوسط بارش‌ترین فصل (°C, BIO8)	-۰/۹	۱۴/۳	۶/۹	۳۱/۲
دمای متوسط کم بارش‌ترین فصل (°C, BIO9)	۲۰/۳	۳۱/۸	۲۷/۸	۳۲/۷
دمای متوسط گرمترین فصل (°C, BIO10)	۲۰/۵	۳۱/۸	۲۸	۳۰/۴
دمای متوسط سردترین فصل (°C, BIO11)	-۲/۶	۸/۵	۴/۴	۲۶/۲
مجموع بارندگی سالانه (mm, BIO12)	۶۲	۱۹۸	۱۰۳	۳۳/۵
مجموع بارندگی پر بارش‌ترین ماه (mm, BIO13)	۱۱	۵۵	۲۴	۹/۱۸
مجموع بارندگی کم بارش‌ترین ماه (mm, BIO14)	۰	۰	۰	۰
تغییرات فصلی بارندگی، ضریب تغییرات (BIO15)	۶۹	۸۹	۸۰	۳/۹
مجموع بارندگی پر بارش‌ترین فصل (mm, BIO16)	۳۱	۱۳۹	۶۰	۲۳/۳
مجموع بارندگی کم بارش‌ترین فصل (mm, BIO17)	۰	۳	۱/۳۹	۰/۷۳
مجموع بارندگی گرمترین فصل (mm, BIO18)	۰	۶	۱/۸۸	۱/۳
مجموع بارندگی سردترین فصل (mm, BIO19)	۲۵	۱۳۸	۵۶/۱۲	۲۲/۷

* باپوهای هایلابیت شده، باپوهای شرکت کننده در مدل پس از آنالیز همبستگی می‌باشند.

بیشترین احتمال حضور می‌باشد. در شیب بیش از ۲۰ درصد حضور گونه کاهش چشمگیری می‌یابد و در شیب بیش از ۴۰ درصد وجود ندارد. در بررسی نیز عوامل مؤثر بر پراکنش تیپ‌های رویشی مراتع پشتکوه استان یزد دریافت است که پراکنش درمنه دشتی تحت تأثیر عوامل ارتفاع، شیب و بافت خاک قرار دارد، به گونه‌ای که در محدوده ارتفاعی ۲۱۰۰ تا ۲۴۰۰ متری بر روی اراضی نسبتاً مسطح گسترش دارد (۴۰). در تقسیم‌بندی استان اصفهان به ۱۴ ساختار پوشش گیاهی بر پایه پژوهش‌های بوم‌شناسی- گیاهشناسی، یکی از ساختارها را استپی

منحنی عکس‌العمل درمنه دشتی به مجموع بارندگی سالانه (BIO12) به صورت کاهشی می‌باشد. در بارندگی سالانه تا ۱۰۰ میلی‌متر، بیشینه احتمال حضور گونه اتفاق می‌افتد، پس از آن احتمال حضور به سرعت کاهش یافته و در بارش بیش از ۲۰۰ میلی‌متر گونه حضور ندارد. زمانی که شاخص ایزوترمالیتی (BIO3) بین ۳۷-۳۴ می‌باشد، حضور گونه یا به عبارتی شایستگی زیستگاه آن بیشینه است و در محدوده کمتر یا بیشتر از آن کاهش می‌یابد، به طوری که در کمتر از ۳۳ و بیشتر از ۳۹ به صفر می‌رسد. در محدوده شیب ۱۵-۵ درصد، گونه دارای

درصد مساحت اشغال شده توسط درمنه دشتی در طبقات مختلف شایستگی در مدل‌های برآزش داده شده متفاوت است (جدول ۴). مدل حداکثر آنتروپی، بیشترین مساحت طبقه با شایستگی کم و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز طبقه‌بندی درختی بیشترین مساحت طبقه با شایستگی بالا را به خود اختصاص داده‌اند.

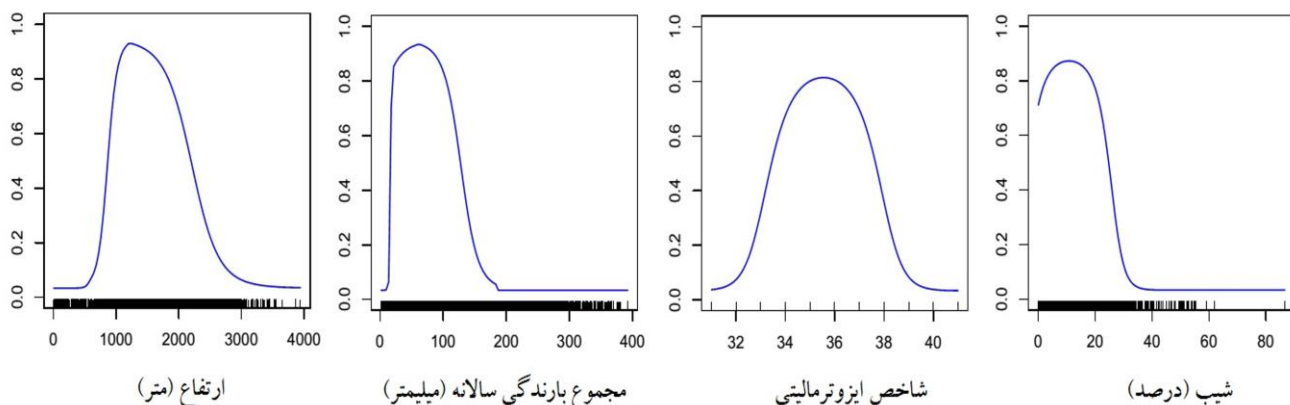
محقق در پژوهش خود حدود ۲۵/۸۳ درصد از سطح استان اصفهان را با روش رگرسیون لجستیک در طبقه شایستگی ۱-۰/۷۵ برای حضور این گونه قرار داده است (۲۸). بر اساس مدل اجماعی حال حاضر، مساحت حضور و غیاب فعلی گونه به ترتیب برابر ۶۷۹۷۲ و ۳۹۰۷۳ کیلومترمربع می‌باشد. درمنه دشتی پراکنش بوم‌شناختی وسیعی دارد، رویشگاه‌های آن ۶۳/۵ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند و نسبتاً به طور یکپارچه در کل منطقه گسترش یافته‌اند.

زیستگاه‌های با شایستگی بالای این گونه در بخش‌های با اقلیم خشک و گرم، فراخشک و گرم، نیمه‌خشک و گرم، نیمه‌خشک و سرد، خشک بادی و گرم پراکنده شده‌اند. در این مناطق، می‌توان حضور این گونه را در قالب جوامع خالص و بعضاً مخلوط با سایر گونه‌ها مشاهده نمود، اما در بخش‌های غربی و جنوبی منطقه که دارای ارتفاع و بارندگی بیشتری هستند، حضور ندارد.

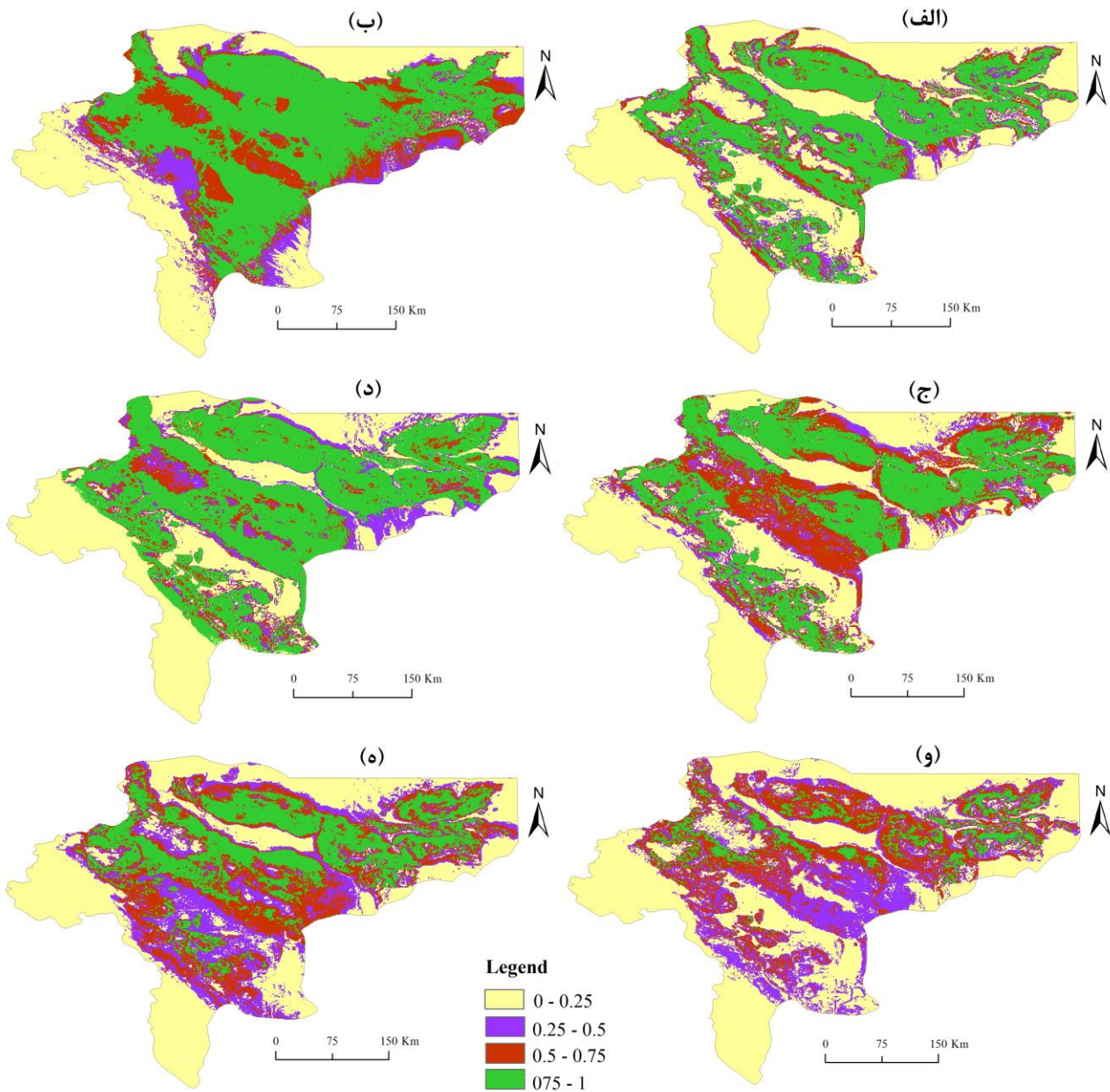
"درمنه دشتی- استیپائی" با غالب بودن گونه‌های *Artemisia sieberi* و *Stipa spp.* ذکر کردند که بیشتر اراضی دشتی با کوه‌ها و تپه‌های کم ارتفاع را در بر می‌گیرد. در ساختار استپی "آسمان-درمنه دشتی" و ساختار نیمه‌بیابانی "درمنه دشتی-قیچ" با سیمای بوته‌ای، درمنه دشتی به ترتیب همراه با گونه‌های *Anabasis Zygothymum* و *haussknechtii* Bunge ex Boiss. در اراضی کم شیب و دشتی مشاهده می‌شود(۱۱).

نقشه مطلوبیت به دست آمده به وسیله هر یک از مدل‌ها، مطلوبیت رویشگاه را از صفر تا یک بیان می‌کند. صفر برای کمترین احتمال و یک برای بیشترین احتمال می‌باشد. برای درک بهتر پراکنش، نقشه چهار طبقه‌ای شامل رویشگاه با کمترین پتانسیل یعنی ۰/۲۵، پتانسیل متوسط یا ۰/۵-۰/۲۵، پتانسیل خوب یا ۰/۷۵-۰/۵ و پتانسیل بالا یا ۰/۷۵، تهیه شد که در شکل ۵ آورده شده است.

با استفاده از تکنیک اجماع و جمع‌بندی نتایج حاصل از تمامی مدل‌ها، نقشه پراکنش گونه در حال حاضر تهیه شد. نقشه‌های شایستگی زیستگاه یا الگوهای مکانی در احتمال وقوع پیش‌بینی شده بین اخوارزمیک‌های مدل متفاوت هستند اما همپوشانی بسیاری با هم دارند (شکل ۶).



شکل ۵. منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به مهمترین متغیرها در پراکنش؛ محور عمودی مقدار پیش‌بینی شده شایستگی زیستگاه یا احتمال پراکنش گونه و محور افقی مقدار متغیر محیطی را نشان می‌دهد.



شکل ۶. پراکنش شایستگی زیستگاه گونه بر اساس داده‌های حضور در شرایط حال حاضر. مدل‌های ارائه شده در هر روش از جمع-بندی ۱۰ بار اجرا حاصل گردیدند. الف) بوستینگ تعمیم یافته، ب) شبکه عصبی مصنوعی، ج) رگرسیون تطبیقی چند متغیره، د) آنالیز طبقه‌بندی درختی، و) بیشینه آنتروپی، ه) مدل اجماعی.

جدول ۴. درصد مساحت اشغال شده توسط گونه در طبقات مختلف شایستگی در مدل‌های برازش داده شده

مدل	۰-۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۵	۰/۵-۰/۷۵	۰/۷۵-۱
شبکه عصبی مصنوعی	۲۹/۶۴	۱۰/۳۶	۱۵/۹۵	۴۴/۰۵
بوستینگ تعمیم یافته	۴۵/۰۷	۹/۱۴	۹/۴۹	۳۶/۳
آنالیز طبقه‌بندی درختی	۳۳/۷۴	۱۰/۱۸	۸/۵۷	۴۷/۵۱
رگرسیون تطبیقی چندمتغیره	۳۵/۳۶	۹/۶۳	۲۱/۴۷	۳۳/۵۴
بیشینه آنتروپی	۴۹/۴۷	۲۱/۶۷	۲۱/۰۲	۷/۸۴
مدل اجماعی	۳۶/۵۲	۲۳/۱۲	۱۹/۲۶	۲۱/۱

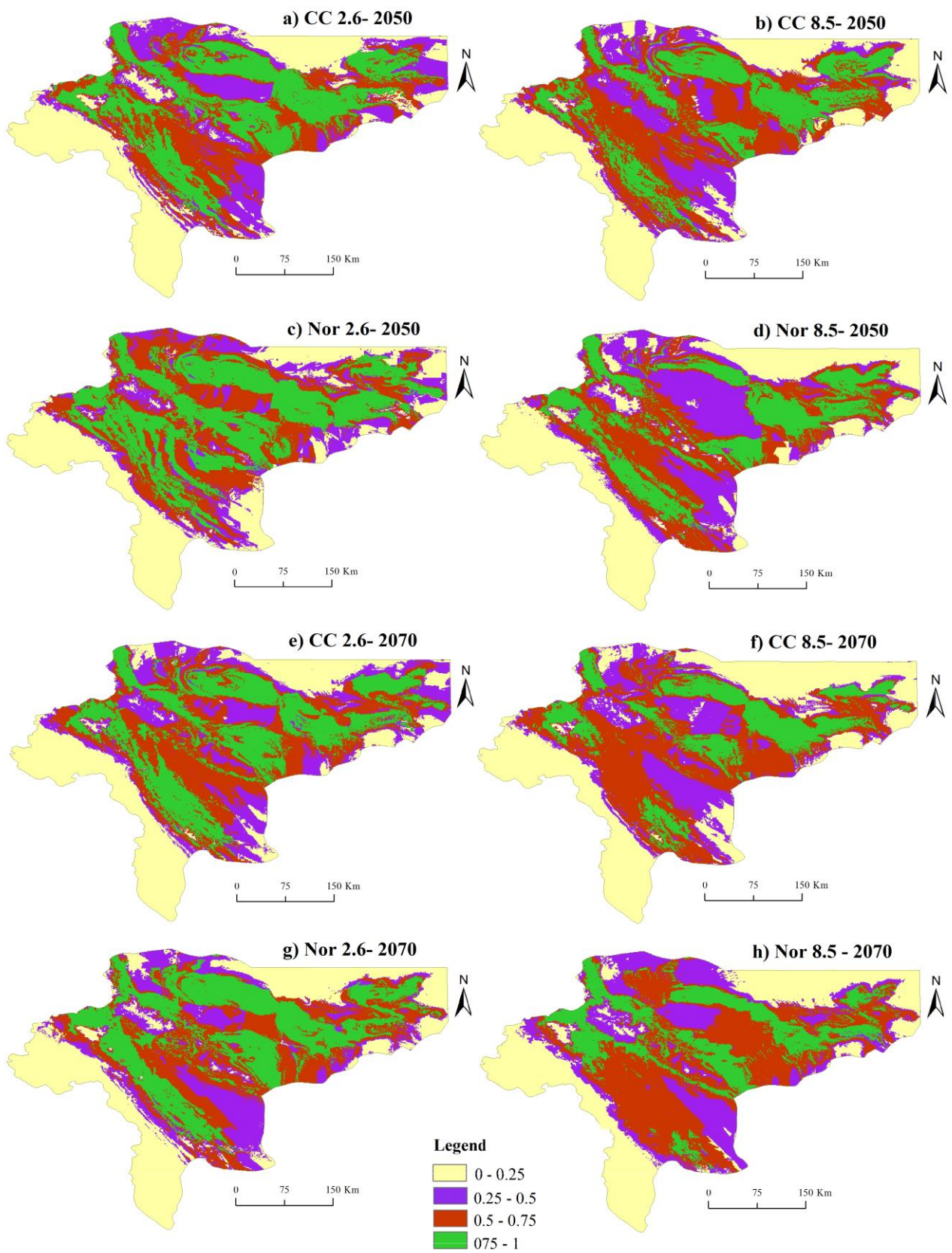
وضعیت پراکنش گونه تحت اقلیم آینده

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 مدل‌های مذکور تهیه شد. میزان و جهت عمومی جابجایی رویشگاه گونه، به کمک نقشه‌های اجماعی حاضر و آینده تعیین شد (شکل ۷). 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 دشتی فراهم می‌کنند. سطح اشغال گونه در مدل‌ها و سناریوهای مختلف، تفاوت چندانی نخواهد داشت، کمینه و بیشینه ارتفاع محدوده حضور فعلی گونه ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر می‌باشد، اما بررسی پراکنش گونه تحت سناریوی بدبینانه که شدیدترین تغییرات اقلیمی را پیش‌بینی می‌کند، حاکی از این است که محدوده پراکنش گونه برای جبران افزایش درجه حرارت به سمت ارتفاعات جابجا خواهد شد.

پر واضح است که تحت سناریوی انتشار بدبینانه از وسعت طبقه‌های با شایستگی زیاد یعنی رویشگاه‌های مناسب شده کاسته خواهد شد (شکل ۶) و بر وسعت طبقه‌های با شایستگی کم یا رویشگاه‌های نامناسب شده افزوده خواهد شد که در صورت بروز این روند شاهد افزایش بیابانزایی در سطح استان خواهیم بود. البته پاسخ به تغییر اقلیم ممکن است در مقیاس محلی و منطقه‌ای و برای گونه‌های مختلف یکسان نباشد. بررسی‌های کمی نشان دادند که در مقیاس منطقه‌ای کاهشی در زیستگاه‌های مناسب رخ خواهد داد، اما در مقیاس کوچک یا محلی، وضع کاملاً متفاوت است (۳۱). در مطالعه‌ای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رویشگاه درمنه دشتی در استان اصفهان تحت سناریوی انتشار A1B در سه مدل اقلیمی، نشان داد که بیشترین کاهش در رویشگاه اقلیمی مناسب گونه به ترتیب در مدل‌های CCSM3، HadCM3 و CGCM3 مشاهده شد (۲۸). مقادیر تغییر در محدوده پراکنش مکانی گونه در دو بازه زمانی تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5 و مدل‌های تغییر اقلیم CCSM4 و NorESM1 در مقایسه با شرایط

محیطی حال حاضر محاسبه شدند (جدول‌های ۵ و ۶). در این جدول‌ها، مساحت‌های مناسب باقیمانده یا حضور پایدار، و نامناسب باقیمانده یا غیاب پایدار به ترتیب عبارتند از مساحتی از حضور فعلی که در آینده نیز برای گونه تناسب دارد و مساحتی از غیاب فعلی که در آینده هم برای گونه نامناسب است. مساحت مناسب شده مساحت رویشگاه‌هایی است که به دلیل تغییر اقلیم برای گونه مناسب شده و منجر به بیابانزدایی می‌گردند. مساحت نامناسب شده مساحت رویشگاه‌هایی می‌باشد که به دلیل تغییر اقلیم تناسب خود را از دست داده و منجر به بیابانزدایی می‌شوند. به منظور تعیین رویشگاه‌های مناسب شده و نامناسب شده، نقشه پراکنش گونه در شرایط حاضر و آینده بر اساس یک سطح بحرانی که صحت مدل را بر اساس AUC به بیشینه می‌رساند، به دو طبقه مناسب و نامناسب طبقه‌بندی و با هم مقایسه شدند. مساحت‌های حضور در گام زمانی آینده که مجموع حضور پایدار و مناسب شده هستند، و مساحت غیاب در گام زمانی آینده یعنی مجموع غیاب پایدار و نامناسب شده نیز در جدول‌ها ذکر شده‌اند.

در مدل CCSM4 بیشترین و کمترین میزان جابجایی به ترتیب تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در سال ۲۰۷۰ و سناریوی RCP2.6 در سال ۲۰۵۰ رخ خواهد داد. در این مدل اقلیمی تحت هر دو سناریوی انتشار، مقدار جابجایی در سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۷۰ کمتر خواهد بود. تغییر اقلیم تنها برای مدل اقلیمی NorESM1 تحت سناریوی RCP2.6 در سال ۲۰۵۰ اثر افزایشی بر رویشگاه‌های مناسب گونه خواهد داشت، به عبارتی احتمالاً این گونه در صورت پیروزی در رقابت با گونه‌های موجود در ارتفاعات بالا به بیابانزدایی کمک خواهد کرد. در حالیکه در سایر موارد اثر کاهشی و در نتیجه بیابانزایی مشاهده خواهد شد. در مجموع تحت هر دو مدل در سال ۲۰۷۰ نسبت به سال ۲۰۵۰ رویشگاه گونه به میزان بیشتری جابجا خواهد شد. به عبارتی در سال ۲۰۵۰ در مناطق محدودی شاهد بروز مناطق غیر مستعد وقوع گونه خواهیم بود، در صورتی که در سال ۲۰۷۰ مناطق بیشتری از نظر اقلیمی برای گونه نامناسب خواهند شد.



شکل ۷. تفاوت در الگوهای مکانی احتمال حضور پیش‌بینی شده بین سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی ۲۰۵۰ (a-d) و ۲۰۷۰ (e-h).

جدول ۵. کمیت‌های نشان دهنده تغییر در وضعیت پراکنش گونه در مقاطع زمانی مورد مطالعه تحت سناریوهای مدل اقلیمی

CCSM4				
۲۰۷۰ سال RCP8.5	۲۰۷۰ سال RCP2.6	۲۰۵۰ سال RCP8.5	۲۰۵۰ سال RCP2.6	
		۶۷۹۷۲		حضور فعلی
		۳۹۰۷۳		غیاب فعلی
۵۶۷۳۹/۷	۵۹۰۶۳/۱	۵۷۵۰۸/۳	۵۹۹۵۱/۳	مناسب باقیمانده
۳۵۸۶۴/۷	۳۵۰۶۶/۴	۳۶۱۳۱/۵	۳۲۲۹۳	نامناسب باقیمانده
۳۲۰۸/۳	۴۰۰۶/۵	۲۹۴۱/۵	۶۷۸۰	مناسب شده
۱۱۲۳۲/۳	۸۹۰۸/۹	۱۰۴۶۳/۷	۸۰۲۰/۷	نامناسب شده
۵۹۹۴۸	۶۳۰۶۹/۷	۶۰۴۴۹/۸	۶۶۷۳۱/۳	حضور آینده
۴۷۰۹۷	۴۳۹۷۵/۳	۴۶۵۹۵/۲	۴۰۳۱۳/۷	غیاب آینده
۴/۷۲	۵/۸۹	۴/۳۲	۹/۹۷	رویشگاه‌های مناسب شده (/.)
۱۶/۵۲	۱۳/۱۱	۱۵/۳۹	۱۱/۸	رویشگاه‌های نامناسب شده (/.)
-۱۱/۸	-۷/۲۲	-۱۱/۰۷	-۱/۸۳	تغییرات رویشگاه‌های گونه (/.)

* مساحت بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد.

جدول ۶. کمیت‌های نشان دهنده تغییر در وضعیت پراکنش گونه در مقاطع زمانی مورد بررسی تحت سناریوهای مدل اقلیمی

NorESM1				
۲۰۷۰ سال RCP8.5	۲۰۷۰ سال RCP2.6	۲۰۵۰ سال RCP8.5	۲۰۵۰ سال RCP2.6	
		۶۷۹۷۲		حضور فعلی
		۳۹۰۷۳		غیاب فعلی
۵۶۷۵۸/۸	۵۹۴۹۸/۲	۵۸۹۰۲	۵۹۶۷۳/۸	مناسب باقیمانده
۳۵۴۶۴/۳	۳۵۲۸۳/۱	۳۵۰۸۲/۱	۳۰۳۱۴/۳	نامناسب باقیمانده
۳۶۰۸/۷	۳۷۸۹/۹	۳۹۹۰/۹	۸۷۵۸/۷	مناسب شده
۱۱۲۱۳/۲	۸۴۷۳/۸	۹۰۷۰	۸۲۹۸/۲	نامناسب شده
۶۰۳۶۷/۵	۶۳۲۸۸/۱	۶۲۸۹۲/۹	۶۸۴۳۲/۵	حضور آینده
۴۶۶۷۷/۵	۴۳۷۵۶/۹	۴۴۱۵۲/۱	۳۸۶۱۲/۵	غیاب آینده
۵/۲۳	۵/۵۷	۵/۸۷	۱۲/۸	رویشگاه‌های مناسب شده (/.)
۱۶/۵	۱۲/۴۶	۱۳/۳۴	۱۲/۲۱	رویشگاه‌های نامناسب شده (/.)
-۱۱/۲۷	-۶/۸۹	-۷/۴۷	۰/۵۹	تغییرات رویشگاه‌های گونه (/.)

* مساحت بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بین مدل‌های مجزا، مدل بوستینگ تعمیم یافته و پس از آن مدل‌های رگرسیون تطبیقی چند متغیره و بیشینه بی-نظمی صحیح‌ترین پیش‌بینی را در تعیین رویشگاه اقلیمی برای گونه ارائه دادند. مدل تجزیه تحلیل طبقه‌بندی

در پژوهش حاضر از بین متغیرهای محیطی، ارتفاع، مجموع بارندگی سالانه، شاخص ایزوترمالتی و شیب بیشترین تأثیر را در تناسب رویشگاه گونه داشته‌اند. از

کار روند، پیشنهاد می‌گردد که علاوه بر توجه به قدرت تفکیک مطالعه، با استفاده از داده‌های مستقل زمانی، پیش‌بینی‌های مدل را ارزیابی کرد. بدلیل اینکه گونه‌های درمنه و مطالعه اثر عوامل اقلیمی بر پراکنش آنها، اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی دارد، از نتایج این پژوهش می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های کاربردی برای حفظ و مدیریت این مراتع و همچنین احیا و بازسازی آنها در استان اصفهان استفاده کرد. البته روابط بین گیاهان و عوامل محیطی از جمله عوامل اقلیمی بسیار پیچیده و ظریف است که بررسی آنها به بررسی‌های طولانی مدت و کامل نیاز دارد. بررسی بیشتر درمنه‌زارها در سایر نقاط کشور و بررسی عوامل زیست‌محیطی دیگر در پراکنش گیاهان این مراتع پیشنهاد می‌شود. همچنین با توجه به اهمیت این مراتع، مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی شده در این مناطق جهت کاهش بیابانزایی ضروری است. برخی از این اقدامات کنترلی عبارتند از مدیریت بقایای گیاهی، مدیریت خاک و زمین، چرای متناسب با ظرفیت مرتع به منظور کاهش تغییرات منفی در کمیت و کیفیت پوشش گیاهی و خاک و در نتیجه جلوگیری از توسعه بیابانزایی. در مجموع بایستی در این مناطق، با توجه به شدت بیابانزایی و عناصر آسیب‌پذیر و در معرض خطر، به اولویت‌بندی برنامه مدیریت بحران پرداخت.

درختی دارای کمترین کارایی و نیز اختلاف معنی‌دار با سایر مدل‌ها به استثنای مدل شبکه عصبی مصنوعی بود. همچنین مدل اجماعی نسبت به مدل‌های مجزای تطبیقی گونه-محیط، از صحت بیشتری برخوردار بود. با توجه به منحنی عکس‌العمل گونه به متغیرهای مهم محیطی مشخص شد که مناطقی با ارتفاع ۲۰۰۰-۱۰۰۰ متر، بارندگی حدود ۲۰۰-۱۰۰ میلی‌متر و شیب کمتر از ۱۵ درصد شرایط مطلوب برای حضور گونه را دارا هستند. در مجموع این گونه زیستگاه‌های کم ارتفاع با شیب کم را ترجیح می‌دهد. در هر دو مدل اقلیمی در هر دو بازه زمانی، کمترین مقدار جابجایی مربوط به سناریوی انتشار RCP2.6 مدل NorESM1 در سال ۲۰۵۰ و بیشترین آن مربوط به سناریوی انتشار RCP8.5 مدل CCSM4 در سال ۲۰۷۰ خواهد بود. همچنین در سال ۲۰۷۰ نسبت به سال ۲۰۵۰ رویشگاه گونه به میزان بیشتری کاهش خواهد یافت که این امر موجب گسترش مناطق بیابانی در سطح استان خواهد شد. از آنجاییکه هدف اصلی بسیاری از مطالعات مدل سازی پراکنش گونه‌ای، پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم روی گونه‌ها از طریق مرتبط نمودن پراکنش‌های گونه‌ای فعلی با اقلیم و سپس پیش‌بینی پراکنش‌های آینده تحت سناریوهای اقلیمی آینده می‌باشد، اگر قرار است نتایج مدل‌های اجماعی برای خط-مشی‌های مدیریتی و اولویت‌بندی برنامه‌های حفاظتی به

■ References

1. Abolmaali, S. M. R., Tarkesh, M. & Bashari, H. (2018). MaxEnt modeling for predicting suitable habitats and identifying the effects of climate change on a threatened species, *Daphne mucronata*, in central Iran. *Ecological Informatics*, 43, 116-123.
2. Akbari, S., Azhdari, A. & Sharifzadeh, G. R. (2017). Study on effect of *Artemisia sieberi* hydro-alcoholic extract on the survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* in probiotic yoghurt. *Birjand University of Medical Science*, 24(1), 50-61 (in Farsi).
3. Allouche, O., Tsoar, A. & Kadmon, R. (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. Amiri, M. J., and S. Eslamian. (2010). Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3, 208-216.
5. Araujo, M. B. & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecological Evolution*, 22(1), 42-46.

6. Azarnivand, H. & Zare-chahoki, M. A. (2011). Rangeland ecology. Iran: Tehran University Press (in Farsi).
7. Bentsen, M., I. Bethke, J. B. Debernard, T. Iversen, A. Kirkeveg, III. Seland, H. Drange, C. Roelandt, I. A. Seierstad, C. Hoose, & J. E. Kristjansson. (2013). The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M - Part 1: Description and basic evaluation of the physical climate. *Geoscience Model Development*, 6, 687-720.
8. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
9. Crimmins, S. M., Dobrowski, S. Z., & Mynsberge, A. R. (2013). Evaluating ensemble forecasts of plant species distributions under climate change. *Ecological Modelling*, 266, 126-130.
10. Dobrowski, S. Z., Thorne, J. H., Greenberg, J. A., Saffort, H. D., Mynsberge, A. R., Crimmins, S. M., & Swanson, A. K. (2011). Modeling plant ranges over 75 years of climate change in California, USA: temporal transferability and species traits. *Ecological Monographs*, 81, 241-257.
11. Feizi, M. T., & Shirani, K. (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).
12. Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. *Annals of Statistics*, 19, 1-141.
13. Gurney, K. (1997). An introduction to neural networks. London: Taylor & Francis. 248 p.
14. Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
15. Hosseini, S. Z., Kappas, M., Zare Chahouki, M. A., Gerold, G., Erasmi, S., & Rafei Emam, A. (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.
16. IPCC. (2013). Climate change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM. (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
17. Isfahan Agricultural and Natural Resources Center. (2017). 1:250000 vegetation map of Isfahan province (in Farsi).
18. Jafari, R., Bashari, H., & Tarkesh, M. (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.
19. Khanum, R., Mumtaz, A. S. & Kumar, S. (2013). Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. *Acta Oecologica*, 49, 23-31.
20. Kumar, S., Spaulding, S. A., Stohlgren, T. J., Herman, K. A., Schmidt, T. S., & Bahls L. L. (2009). Potential habitat distribution for the freshwater diatom *Didymosphenia geminata* in the continental US. *Frontiers in Ecology and Environment*, 7(8), 415-420.
21. Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17(2), 145-151.

22. Mohammadi, E., Yazdanpanah, H. & Mohammadi, F. (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).
23. Mohtashamnia, S. (2001). Study the most important environmental factors affecting the distribution of *Artemisia* in Fars province (Case study: steppe rangelands of Fars). *Natural Ecosystems of Iran*, 3, 75-86 (in Farsi).
24. Molaei Shamasbi, M., Ghorbani, A., Sefidi, K., Bahrami, B., & Hashemi Majd, K. (2017). Ecological factors affecting the distribution of *Artemisia sieberi* Boiss. in southeast slopes of Sabalan. *Rangeland*, 11(2), 139-151 (in Farsi).
25. Nasirpour, M., Yavarmanesh, M., Mohammadi Sani, A. & Mohamadzade Moghadam, M. (2014). Antibacterial effect of aqueous extract of *Artemisia aucheri*, *Artemisia sieberi* and *Hyssopus officinalis* L. on the food borne pathogenic bacteria. *Food Science and Technology*, 46(12), 73-84 (in Farsi).
26. Natekin, A. & Knoll, A. (2013). Gradient Boosting Machines, A Tutorial. *Frontiers in Neurorobotics*, 7, 1-21.
27. Pal, J. S. & Eltahir, E. A. B. (2015). Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature Climate Change*, 6, 197-200.
28. Pezhhan, E. (2013). *Climate change effects on spatial distribution of Artemisia sieberi in Isfahan province using predictive species distribution models*. M.Sc, Isfahan University of Technology: Isfahan (in Farsi).
29. Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
30. Pliscoff, P., Luebert, F., Hilger, H. & Guisan, A. (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.
31. Priti, H., Aravind, N. A., Shaanjer, R. U., & Ravikanth, G. (2016). Modeling impacts of future climate on the distribution of Myristicaceae species in the Western Ghats, India. *Ecological Engineering*, 89, 14-23.
32. Rapacciuolo, G., Roy, D. B., Gillings, S., Fox, R., Walker, K., & Purvis, A. (2012). Climatic associations of British species distributions show good transferability in time but low predictive accuracy for range change. *PLoS ONE* 7, e40212.
33. Reyer, C. P. O., Leuzinger, S., Rammig, A., Wolf, A., Bartholomeus, R. P., Bonfante, A., de Lorenzi, F., Dury, M., Gloning, P., Abou Jaoudé, R., Klein, T., Kuster, T. M., Martins, M., Niedrist, G., Riccardi, M., Wohlfahrt, G., de Angelis, P., de Dato, G., François, L., Menzel, A., & Pereira, M. (2013). A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. *Global Change Biology*, 19, 75-89.
34. Stohlgren, T. J., Ma, P., Kumar, S., Rocca, M., Morisette, J. T., Jarnevich, C., & Benson, N. (2010). Ensemble habitat mapping of invasive plant species. *Risk Analysis*, 30(2), 224-235.
35. Tarkesh, M. & 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), 1-11.

36. Tsoar, A., Ahhouche, O., Steinitz, O., Rotem, D. & Kadmon, R. (2007). A comparative evaluation of presence-only methods for modeling species distribution. *Diversity and Distributions*, 13(4), 397-405.
37. Wilson, C. D., Roberts, D. & Reid, N. (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.
38. Xu, X., Zhang, H., Yue, J., Xie, T., Xu, Y. & Tian, Y. (2018). Predicting shifts in the suitable climatic distribution of Walnut (*Juglans regia* L.) in China: maximum entropy model paves way to forest management. *Forests*, 9(103), 1-15.
39. Yi, Y. J., Cheng, X., Yang, Z. F., & Zhang, S. H. (2016). MaxEnt modelling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. *Ecological Engineering*, 92, 260-269.
40. Zare Chahuki M. A. (2001). The study of relationships between some plant species with some soil properties in pastures of Poshtkuh Yazd. Msc, Tehran University (in Farsi).

Predicting the Distribution of *Artemisia Sieberi* Besser under Climate Change in the Steppe and Semi-Steppe of Iran-Touranian Region

M. Amiri^{1*}, M. Tarkesh², R. Jafari³

1. Ph.D. Student of Rangeland Science, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 2. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 3. Associated Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- * Corresponding Author: mohaddeseh.amiri@na.iut.ac.ir

Received date: 23/08/2018

Accepted date: 25/01/2019

Abstract

Understanding the effect of climate change on distribution of plant species is essential for sustainable management and conservation of rangelands, especially in arid and semi-arid ecosystems which are vulnerable to desertification, because of their sensitivity and fragility to climate change. Due to the complexity of natural systems and phenomenon of climate change, species distribution models are used to understand the impact of climate change on potential niche of species. In this study, five modeling algorithms including artificial neural network, generalized boosting method, classification tree analysis, multivariate adaptive regression splines and maximum entropy were used to predict current and future distribution of *Artemisia sieberi* Besser in Central Iran. First, the ensemble model as the average predicted probability of single models' occurrence was created. Next, pessimistic (RCP 8.5) and optimistic (RCP 2.6) scenarios of CCSM4 and NorESM1-ME climate models for the years of 2050 and 2070 were evaluated to assess the trend in spatio-temporal variations of distribution. For this purpose, layers of environmental factors including six bioclimatic and two physiographic variables were used as inputs of species distribution models. Among the environmental variables, altitude, annual precipitation, isothermality, and slope had the most impact on the habitat suitability. Modeling evaluation indicated that the generalized boosting model had better predictions of climatic habitats than other models, and ensemble model than single models. Maximum probability of species presence was determined in plains and low slope areas at altitude of 1000-2000 m and annual precipitation of 100-200 mm. Analysis of the climate change scenarios showed that, the species habitat would be decreased in 2070 more than 2050, leading to the expansion of desert areas. The results can be used for planning to combat desertification in the habitat of *Artemisia sieberi*, as well as its restoration and rehabilitation in the vast regions of Iran.

Keywords: Desertification; Ecological niche modeling; diffusion scenario; habitat suitability; ensemble model