

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه بالقوه استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr) در

زاگرس مرکزی

سیما طیموری اصل^۱، علی اصغر نقی پور برج^{۲*}، محمدرضا اشرف‌زاده^۳ و مریم حیدریان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۸

چکیده

گونه گیاهی استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana*) از نظر تولید علوفه و حفاظت خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه، اثر تغییر اقلیم آینده بر پراکنش جغرافیایی این گونه در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی پیش‌بینی شده است. به این منظور، تعداد ۱۲۲ داده حضور گونه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد و همراه با ۹ متغیر محیطی شامل متغیرهای زیست اقلیمی، فیزیوگرافی و پوشش/کاربری سرزمین در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. رویکرد مدل‌سازی اجماعی شامل مدل‌بی‌نظمی بیشینه، شبکه عصبی مصنوعی، روش افزایشی تعمیم‌یافته، مدل خطی تعمیم‌یافته، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، جنگل تصادفی و رگرسیون چند متغیره تطبیقی استفاده شد. پیش‌بینی آینده برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ و بر اساس چهار سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 و مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 انجام شد. یافته‌ها نشان داد که حدود ۲۲/۳۷ درصد از محدوده مورد مطالعه در شرایط اقلیمی امروزی به عنوان رویشگاه‌های مطلوب گونه استپی بیابانی شناسایی شد. موثرترین متغیرها در مطلوبیت رویشگاه گونه مورد مطالعه، به ترتیب میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی و شاخص هم‌دمایی بودند. پیش‌بینی می‌شود که به واسطه تغییر اقلیم، به ترتیب کمترین و بیشترین سطح رویشگاه نامناسب شده در حدود ۱۸/۷۲ درصد (RCP2.6) در سال ۲۰۵۰ تا ۴۲/۸۷ درصد (RCP8.5) در سال ۲۰۷۰ خواهد بود. مدل جنگل تصادفی به عنوان قابل‌اعتمادترین مدل، در بین هفت مدل مورد بررسی تعیین شده به عنوان رویشگاه مناسب در این مطالعه می‌تواند برای معرفی مجدد و استقرار استپی بیابانی مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، چهارمحال و بختیاری، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، مدل جنگل تصادفی، Biomod2، مدل‌سازی اجماعی.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مرتعداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

^۲ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

* نویسنده مسئول: aa.naghipour@sku.ac.ir

^۳ - استادیار گروه شیلات و محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

^۴ - دانش آموخته دکتری علوم مرتع، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مقدمه

بر اساس برآوردها، تغییرات اقلیمی سال‌های گذشته، نقش مهمی در جابجایی پراکنش جغرافیایی گونه‌های مختلف و حتی انقراض محلی برخی گونه‌ها به ویژه در لکه‌های زیستگاهی مجزا و کوچک داشته است (۲۳). بر این اساس، به نظر می‌رسد تغییرات شرایط محیطی آینده از جمله تغییر در الگوهای بارندگی و نوسان دمایی، منجر به تغییر مطلوبیت اکوسیستم‌های طبیعی برای گونه‌های مختلف خواهد شد. درک چگونگی پاسخ گونه‌ها در مواجهه با تغییرات اقلیمی آینده، اهمیت زیادی در مدیریت و حفاظت کارآمد از تنوع زیستی دارد (۲۲).

به منظور کنترل و کاهش پیامدهای منفی تغییر اقلیم، مدل‌سازی اثرات اقلیمی آینده بر پراکنش گونه‌ها ضروری است (۷). پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه در آینده نیازمند جمع‌آوری اطلاعات مربوط به حضور گونه، متغیرهای محیطی و ترکیب این اطلاعات با شرایط محیطی جدید دارد (۳۹). این اطلاعات به منظور پاسخ به دو پرسش مهم هستند: (۱) در حال حاضر گونه مورد مطالعه در چه شرایط اقلیمی یافت می‌شود؟ (۲) این گونه در چه شرایط اقلیمی در آینده حضور خواهد داشت؟ (۷).

زاگرس مرکزی با دارا بودن شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های طبیعی منحصر به فرد و همچنین تنوع قابل توجهی از گونه‌های گیاهی و جانوری، از لحاظ تنوع زیستی اهمیت بالایی دارد (۲۴). به نظر می‌رسد گستره کوهستانی زاگرس یکی از مناطق آسیب‌پذیر به گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است (۲۶). در طول ۱۵ سال گذشته، میانگین درجه حرارت سالیانه در زاگرس مرکزی افزایش یافته است، در حالی که میزان بارندگی سالیانه در این مدت در این منطقه کاهش پیدا کرده است (۱۲).

گونه استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr) از تیره گندمیان (*Poaceae*)، گستره وسیعی از مناطق دشتی و تپه ماهوری در شمال شرقی، شمال غربی و به ویژه مرکز کشور در ناحیه رویشی ایران و تورانی را اشغال نموده است (۳۰). این گونه در رویشگاه‌های با ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۷۰۰ متر، شیب‌های دو تا ۶۰ درصد و در تمامی جهت‌های جغرافیایی پراکنش دارد (۱۳). استپی بیابانی در

مناطق با میانگین بارندگی ۱۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر (بیشترین گستره تا ۲۵۰ میلی‌متر) و متوسط دمای سالیانه ۱۰/۵ تا ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود (۳۰). این گیاه مرتعی، پایا و دارای شکل رویشی علفی بوده (۱۶) و دارای خوشخوراکی متوسط است. در حالی که استپی بیابانی به عنوان یک گیاه علوفه‌ای مرغوب شناخته نمی‌شود، اما مقاومت و پایداری زیاد به چرای دام داشته و به دلیل سیستم ریشه‌ای متراکم خود، از گونه‌های عالی تثبیت کننده خاک به شمار می‌رود (۳۰).

روش‌های مختلف مدل‌سازی به طور گسترده برای مطالعه پراکنش گیاهان و جانوران مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در ایران نیز از روش‌های مختلف مدل‌سازی برای تعیین پراکنش گونه‌های گیاهی استفاده شده است (از جمله: ۲، ۳، ۹، ۱۷، ۳۳، ۳۴، ۴۰ و ۴۴). این روش‌ها به منظور پیش‌بینی پاسخ گونه‌ها به تغییرات اقلیمی و تغییر کاربری و همچنین پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مهاجم و توصیه‌های کارآمد حفاظتی استفاده شده‌اند (۱۴). هدف بسیاری از فنون مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، مدل‌سازی آشیان اکولوژیکی گونه است که از آن به منظور پیش‌بینی پراکنش بالقوه جغرافیایی گونه استفاده می‌شود (۴۲). از مدل‌های آشیان اکولوژیک^۱ (ENM) به عنوان ابزاری برای ارزیابی اثر تغییرات شرایط محیطی و کاربری زمین بر پراکنش گونه‌ها استفاده شده است. مدل آشیان اکولوژیک را می‌توان پراکنش احتمالی یک گونه که توسط مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی و مناطق وقوع آن تعیین شده است، تعریف نمود (۳۷). تلفیق این پراکنش احتمالی با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مناطق دارای شرایط محیطی مناسب برای گونه‌ها را تعیین خواهد نمود (۳۱ و ۳۶). نگرانی عمده‌ای که در چنین مدل‌هایی وجود دارد، عدم قطعیت آن‌ها است. در حالی که استفاده از الگوریتم‌های انفرادی نتایج متفاوتی را به دست می‌دهد (۱۸)، استفاده از مدل‌های مختلف در یک رویکرد مدل‌سازی اجماعی می‌تواند عدم قطعیت را در نتایج به دست آمده کاهش دهد (۸).

در سطح جهانی، پژوهش‌های متعددی درباره پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های جنس *Stipa*

^۱- Ecological Niche Modelling

میانگین بارندگی استان ۵۶۰ میلی متر است. میانگین سالانه دمای هوا نیز ۱۰ درجه سانتی گراد است (۲۵ و ۳۲). این استان اهمیت بالایی از نظر تنوع زیستی و ارزش اکولوژیکی دارد (۳۴).

داده‌های حضور گونه و اطلاعات متغیرهای محیطی

تعداد ۱۳۳ موقعیت حضور گونه استپی بیابانی در استان چهارمحال و بختیاری بر اساس بازدیدهای گسترده میدانی و با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۱ (GPS) جمع‌آوری شد. در هنگام ثبت نقاط حضور گونه، سعی شد مناطقی به عنوان محل حضور در نظر گرفته شوند که حداقل یک لکه به مساحت یک کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار داده باشد (۳۴). به منظور کاهش خودهمبستگی مکانی، نقاط حضور تکراری در فاصله کمتر از یک کیلومتر حذف شدند. در نهایت، با توجه به شرایط ذکر شده، ۱۲۲ نقطه برای مدل‌سازی پراکنش گونه استفاده شد.

در مطالعه حاضر، مدل‌سازی‌ها در دوره زمانی پایه (حال حاضر) و دو دوره زمانی آینده (سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) انجام شد. تعداد ۱۹ متغیر زیست اقلیمی مشتق شده از دما و بارش ماهیانه (Bio1-Bio19) و لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه به صورت ریز مقیاس شده (دقت ۳۰ ثانیه تقریباً معادل یک کیلومتر مربع) از پایگاه اطلاعاتی *Worldclim* (www.worldclim.org) دریافت شد. با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌های درصد شیب و جهت شیب تولید شد و به همراه ارتفاع به عنوان متغیرهای فیزیوگرافی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، داده‌های پوشش/کاربری سرزمین از لایه تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور استخراج شد.

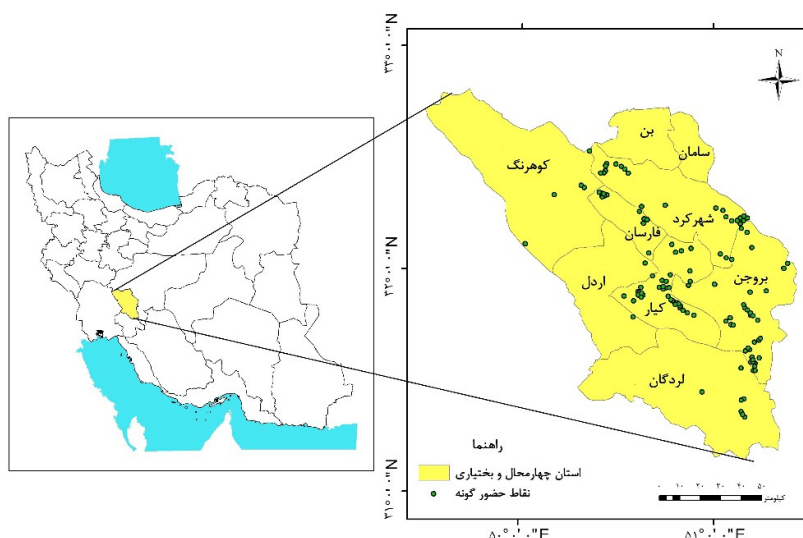
انجام شده است. اغلب این پژوهش‌ها، اثر منفی تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌های این جنس را پیش‌بینی نموده‌اند (۱۴، ۲۸ و ۴۵). با وجود اهمیت جنس *Stipa* در کشور، تاکنون پژوهش‌های اندکی در زمینه مدل‌سازی پراکنش گونه‌های این جنس به انجام رسیده است. به عنوان نمونه، زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل بی‌نظمی بیشینه، مطلوبیت رویشگاه گونه *S. barbata* را در منطقه طالقان بررسی نمودند. اما، تاکنون پیامدهای تغییر اقلیم بر گونه استپی بیابانی مورد مطالعه قرار نگرفته است. استان چهارمحال و بختیاری به علت تنوع بالای فیزیوگرافی، امکان بررسی منحنی‌های عکس‌العمل گونه استپی بیابانی در برابر تغییرات اقلیمی را مهیا می‌سازد و به همین دلیل بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها در این منطقه می‌تواند یافته‌های جالب توجهی را به دست دهد. مطالعه حاضر به منظور دستیابی به اهداف: (۱) مدل‌سازی اثرات عوامل اقلیمی و توپوگرافی بر پراکنش جغرافیایی گونه استپی بیابانی با استفاده از مدل‌سازی جماعی در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی و (۲) مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ بر پراکنش جغرافیایی گونه استپی بیابانی به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت حدود ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع یک منطقه نیمه خشک است که تقریباً تمام آن در گستره زاگرس مرکزی قرار گرفته است. این استان بین ۳۱° ۹' تا ۳۲° ۴' عرض شمالی و نیز ۴۹° ۲۸' تا ۲۵° ۵۱' طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این استان عمدتاً کوهستانی و ارتفاع آن از ۷۸۳ تا ۴۱۷۸ متر متغیر است. میزان بارش سالانه آن بین ۲۵۰ میلی‌متر در شرق و جنوب شرقی و ۱۴۰۰ میلی‌متر در شمال غربی متغیر بوده و

^۱ - Global Positioning System



شکل ۱: موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در کشور ایران به همراه نقاط حضور استپی بیابانی (*S. hohenackeriana*)

استفاده به داده‌های زمینه (مانند نقاط عدم حضور کاذب) نیاز دارند، به طور تصادفی تعداد نقطه زمینه‌ای برابر با نقاط حضور گونه در گستره مورد مطالعه به جز پیکسل‌های رویشگاهی که حضور گونه در آن ثبت شده بود انتخاب شد. برای بالا بردن دقت و کارایی مدل، هر کدام از مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار انجام شد. ۸۰ درصد نقاط حضور به عنوان داده‌های تعلیمی و ۲۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها استفاده شدند. مدل‌ها با استفاده از شاخص مساحت زیر منحنی ROC (AUC^A) و آماره TSS ارزیابی شدند (۴). سطح مشارکت (اهمیت) متغیرهای مختلف در مدل‌های پراکنش استپی بیابانی نیز سنجیده شد. مدل اجماعی با استفاده از متوسط وزن مدل‌های انفرادی که بر مبنای مقدار شاخص AUC محاسبه گردید به دست آمد (۴۳). به منظور برآورد اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه مورد مطالعه، ابتدا از یک سطح بحرانی (بر اساس معیار ROC) برای طبقه‌بندی نقشه مطلوبیت رویشگاه به دو طبقه مطلوب و نامطلوب استفاده شد. سپس، وسعت رویشگاه‌های جدید و رویشگاه‌های نامناسب شده به دلیل تغییر اقلیم در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ و در سناریوهای مختلف برآورد

تمامی لایه‌های محیطی از نظر ابعاد، دقت مکانی و سیستم مختصات جغرافیایی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و با ابزار Extract by Mask یکسان‌سازی شدند. پیش از اجرای مدل‌سازی، برای بررسی همبستگی و هم‌خطی بین متغیرهای محیطی مختلف از آزمون پیرسون و شاخص تورم واریانس (VIF) استفاده شد. متغیرهایی با ضریب همبستگی پیرسون کمتر از 0.8 و $R^2 < 0.8$ و $VIF < 3$ انتخاب شدند (۱۰). در نهایت و پس از حذف لایه‌های دارای همبستگی بالا، تعداد نه متغیر در مدل‌سازی استفاده شدند (جدول ۱).

مدل‌سازی اجماعی

به‌منظور پیش‌بینی پراکنش رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی از بسته نرم‌افزاری Biomod2 (۴۳) در محیط R (نسخه 3.1.2) استفاده شد. در مطالعه حاضر از مدل‌های بی‌نظمی بیشینه^۱ (MaxEnt)، شبکه عصبی مصنوعی^۲ (ANN)، روش افزایشی تعمیم‌یافته^۳ (GBM)، مدل خطی تعمیم‌یافته^۴ (GLM)، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر^۵ (FDA)، جنگل تصادفی^۶ (RF) و رگرسیون چند متغیره تطبیقی^۷ (MARS) برای مدل‌سازی رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی استفاده شد. به دلیل این که تمامی مدل‌های مورد

^۵- Flexible Discriminant Analysis

^۶- Random Forest

^۷- Multivariate Adaptive Regression splines

^۸- Area Under the Curve

^۱- Maximum Entropy

^۲- Artificial Neural Network

^۳- Generalized Boosting Method

^۴- Generalized Linear Model

شدند. تمامی نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS® 10.3 تهیه شدند.

در این مطالعه، از مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 و چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 برای پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش استپی بیابانی در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ استفاده شد. این مدل به عنوان یکی از بهترین مدل‌ها برای پیش‌بینی

تغییرات اقلیمی منطقه‌ای در ایران پیشنهاد شده است و دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های گردش عمومی به منظور شبیه سازی داده‌های اقلیمی در سراسر کشور دارد (۱). RCPs (Representative Concentration Pathways) سناریوهای تغییر اقلیم هستند که به منظور استفاده در ورودی مدل گردش عمومی جو تدوین شده‌اند (۳۵).

جدول ۱: متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش استپی بیابانی و اهمیت نسبی آنها بر اساس مدل اجماعی

اهمیت نسبی	عنوان به انگلیسی	متغیرهای محیطی
۳۳/۳۵	Bio8- Mean Temperature of the Wettest Quarter	میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال
۲۰/۶۹	Bio15- Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	تغییرات فصلی بارندگی
۱۳/۷۷	Bio3-Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)	شاخص هم‌دمایی
۱۲/۷۹	Bio12- Annual Precipitation	مجموع بارندگی سالانه
۸/۸۳	Slope	شیب
۴/۹۰	Bio4- Temperature Seasonality (standard deviation *100)	تغییرات فصلی دما
۱/۹۶	Aspect	جهت جغرافیایی
۱/۸۹	cover/Land use Land	پوشش/اکاربری سرزمین
۱/۸۱	Bio17- Precipitation of the Driest Quarter	مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال

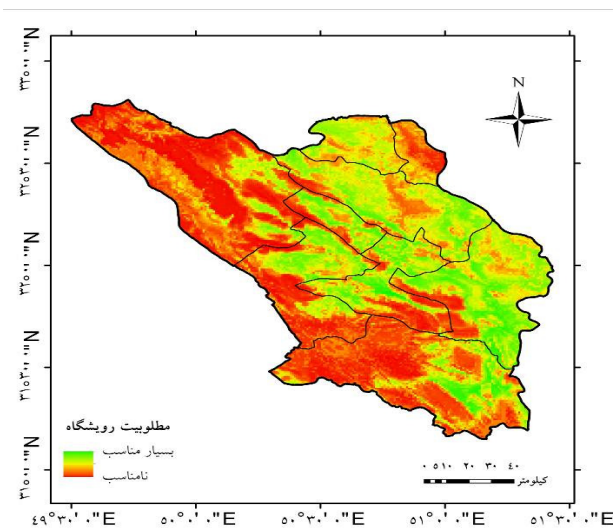
نتایج

معیارهای AUC (>0.84) و TSS (>0.63) برای همه مدل‌ها در سطوح خوب تا عالی ارزیابی شدند (جدول ۲). بر اساس یافته‌ها، بالاترین سطح معیارهای AUC (0.99) و TSS (0.98) برای مدل جنگل تصادفی (RF) برآورد شدند. بر اساس نتایج مدل‌سازی اجماعی، در حدود ۲۲/۳۷ درصد ($3698/77$ کیلومتر مربع) از گستره این استان می‌تواند به عنوان رویشگاه مطلوب استپی بیابانی در نظر گرفته شود (جدول ۳). در حالی که رویشگاه‌های مطلوب این گونه در محدوده تمامی شهرستان‌های استان چهارمحال و بختیاری قابل مشاهده هستند (شکل ۲)، شهرستان‌های بروجن، شهرکرد و لردگان در حدود ۶۳ درصد از وسعت این رویشگاه‌ها را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

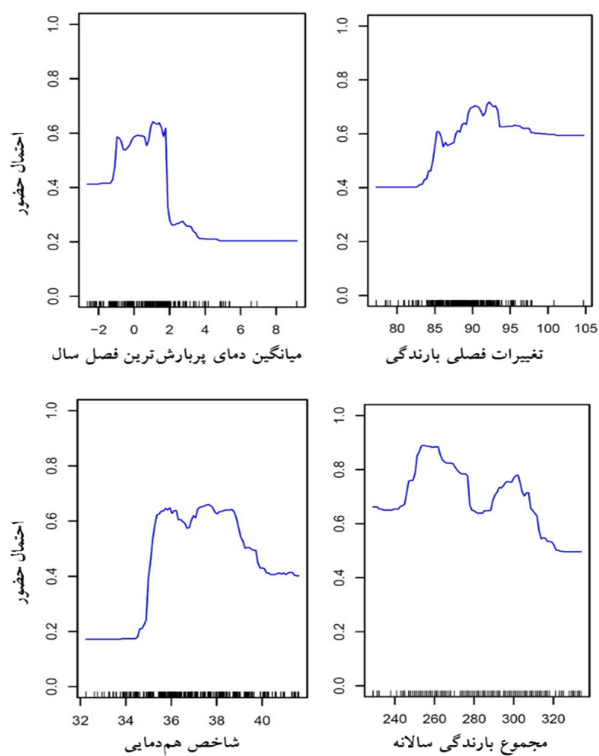
سهم نسبی (اهمیت) هر یک از متغیرهای وارد شده به مدل در پیش‌بینی مناطق مطلوب برای حضور استپی بیابانی در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان داد که به ترتیب، شاخص میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی، هم‌دمایی و مجموع بارندگی سالانه بیشترین سهم (حدود $80/60$ درصد) را در تعیین مطلوبیت رویشگاه استپی بیابانی داشتند (جدول ۱). بر اساس یافته‌ها، بیشترین احتمال حضور استپی بیابانی در میانگین دمای ۱- تا ۲ درجه سانتی‌گراد در پربارش‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی ۸۵ تا ۹۸ میلی‌متر، هم‌دمایی ۳۵ تا ۳۹/۵ درجه سانتیگراد و مجموع بارندگی سالیانه ۲۴۵ تا ۳۲۵ میلی‌متر برآورد شد (شکل ۳). کمینه و بیشینه ارتفاع نقاط حضور گونه مورد مطالعه به ترتیب ۱۶۱۶، ۲۶۳۳ متر از سطح دریا محاسبه شد.

جدول ۲: مقادیر برآورد شده شاخص سطح زیر منحنی (AUC) و TSS در مدل‌های مختلف

شاخص‌ها	RF	GLM	MaxEnt	ANN	GBM	FDA	MARS	میانگین
AUC	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۳
TSS	۰/۹۸	۰/۶۳	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۷۲



شکل ۲: مطلوبیت رویشگاه گونه استپی بیابانی بر اساس رویکرد اجماعی حاصل از هفت مدل پراکنش گونه‌ای



شکل ۳: احتمال حضور گونه استپی بیابانی در امتداد متغیرهای موثر بر اساس مدل RF در استان چهارمحال و بختیاری

جدول ۳: رویشگاه‌های مطلوب فعلی استپی بیابانی بر اساس مدل‌های مختلف در استان چهارمحال و بختیاری

مدل اجماعی	MARS	FDA	GBM	ANN	MaxEnt	GLM	RF	مساحت (کیلومتر مربع)
۳۶۹۸/۷۷	۳۳۰۴/۶۲	۳۵۱۷/۰۷	۶۸۲۹/۰۲	۴۲۱۸/۱۴	۶۵۲۷/۲۰	۳۸۰۲/۰۳	۲۵۹۶/۳۰	
۲۲/۳۷	۱۹/۹۹	۲۱/۲۷	۴۱/۳۱	۲۵/۵۲	۳۹/۴۸	۲۲/۹۹	۱۵/۷۰	درصد

جدول ۴: مساحت (کیلومتر مربع) و درصد رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی بر اساس مدل اجماعی به تفکیک شهرستان‌های استان

شهرستان	بروجن	شهرکرد	لردگان	کیار	اردل	بن	فارسان	کوهرنگ	سامان
مساحت	۱۲۸۵/۱۲	۶۱۱/۰۹	۴۳۶/۱۸	۴۱۳/۵۰	۳۳۵/۱۹	۲۵۲/۴۹	۲۲۷/۶۱	۱۳۲/۴۶	۵/۱۲
درصد	۳۴/۷۴	۱۶/۵۲	۱۱/۷۹	۱۱/۱۸	۹/۰۶	۶/۸۳	۶/۱۵	۳/۵۸	۰/۱۴

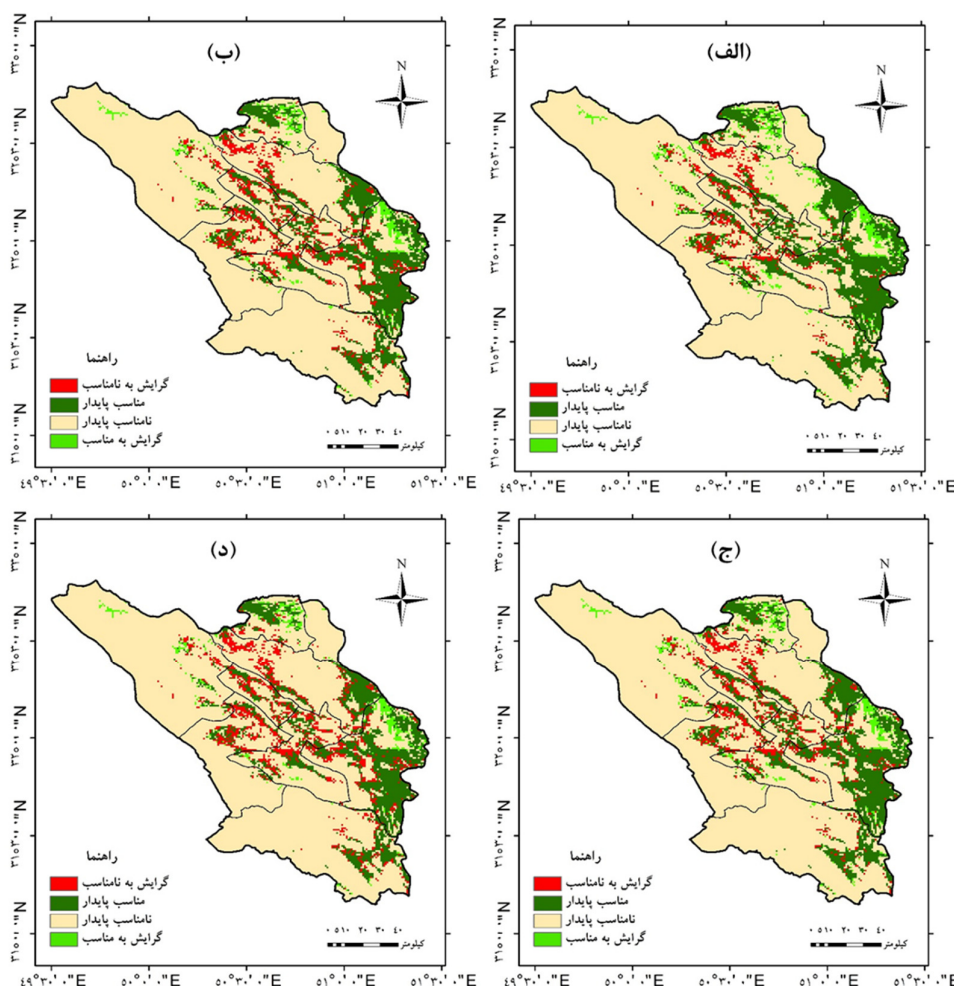
۲۰۷۰) تا ۱۶/۴۸ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۵۰) به رویشگاه‌های مطلوب این گونه اضافه خواهد شد (شکل‌های ۴ و ۵، جدول ۵). به طور خلاصه، نرخ خالص از دست رفتن رویشگاه مطلوب استپی بیابانی در آینده بین ۲/۲۴- درصد (RCP2.6، سال ۲۰۵۰) تا ۳۸- درصد (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) برآورد شد. بر اساس یافته‌ها، سناریو RCP8.5 نسبت به سه سناریوی دیگر اثرات شدیدتری بر گستره رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی در منطقه مورد مطالعه خواهد داشت.

بر اساس یافته‌ها، تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی در استان وارد سازد. برآوردهای حاصل از سناریوهای اقلیمی مختلف نشان می‌دهند که در حدود ۱۸/۷۲ درصد (RCP2.6) تا ۳۳/۶۹ درصد (RCP8.5) از رویشگاه‌های امروزی استپی بیابانی به واسطه تغییر اقلیم از دست خواهد رفت. همچنین، بر اساس این سناریوها، احتمالاً در حدود ۳۶/۰۵ درصد (RCP2.6) تا ۴۲/۸۷ درصد (RCP8.5) از رویشگاه‌های امروزی این گونه تا سال ۲۰۷۰ نامطلوب خواهد شد (جدول ۵). در حالی که در همین دوره زمانی در حدود ۴/۶۱ درصد (RCP4.5)، سال

جدول ۵: تغییر در وسعت رویشگاه‌های مطلوب (کیلومتر مربع) استپی بیابانی تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوهای اقلیمی مختلف

و مدل گردش عمومی MRI- CGCM3

سناریو	حضور پایدار	عدم حضور پایدار	رویشگاه از دست رفته		رویشگاه جدید		تغییرات در رویشگاه
			مساحت	درصد	مساحت	درصد	
سال ۲۰۵۰							
سناریو RCP2.6	۳۰۰۶/۴۸	۱۳۲۲۳/۷۳	۶۹۲/۲۸	۱۸/۷۲	۶۰۹/۵۰	۱۶/۴۸	-۲/۲۴
سناریو RCP4.5	۲۶۳۱/۴۱	۱۳۴۳۵/۴۴	۱۰۶۷/۳۶	۲۸/۸۶	۳۹۷/۷۹	۱۰/۷۶	-۱۸/۱۰
سناریو RCP6	۲۷۳۸/۳۶	۱۳۴۰۳/۲۱	۹۶۰/۴۰	۲۵/۹۷	۴۳۰/۰۲	۱۱/۶۳	-۱۴/۳۴
سناریو RCP8.5	۲۴۵۲/۶۶	۱۳۴۸۵/۲۶	۱۲۴۶/۱۱	۳۳/۶۹	۳۴۷/۹۷	۹/۴۱	-۲۴/۲۸
سال ۲۰۷۰							
سناریو RCP2.6	۲۳۶۵/۳۲	۱۳۰۶۵/۶۸	۱۳۳۳/۴۴	۳۶/۰۵	۷۶۷/۵۶	۵/۹۸	-۳۰/۰۷
سناریو RCP4.5	۲۱۹۸/۶۶	۱۳۲۴۱/۷۵	۱۵۰۰/۱۱	۴۰/۵۶	۵۹۱/۴۸	۴/۶۱	-۳۵/۹۵
سناریو RCP6	۲۳۳۲/۰۰	۱۳۱۰۵/۰۷	۱۳۶۶/۷۷	۳۶/۹۵	۷۲۸/۱۶	۵/۶۷	-۳۱/۲۸
سناریو RCP8.5	۲۱۱۳/۰۳	۱۳۲۰۷/۶۱	۱۵۸۵/۷۴	۴۲/۸۷	۶۲۵/۶۲	۴/۸۸	-۳۸/۰۰



شکل ۴: تغییر در رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی از شرایط اقلیمی امروزی تا آینده (سال ۲۰۵۰) بر اساس مدل MRI-CGCM3 با چهار سناریو: الف) RCP2.6، ب) RCP4.5، ج) RCP6، د) RCP8.5

بحث و نتیجه‌گیری

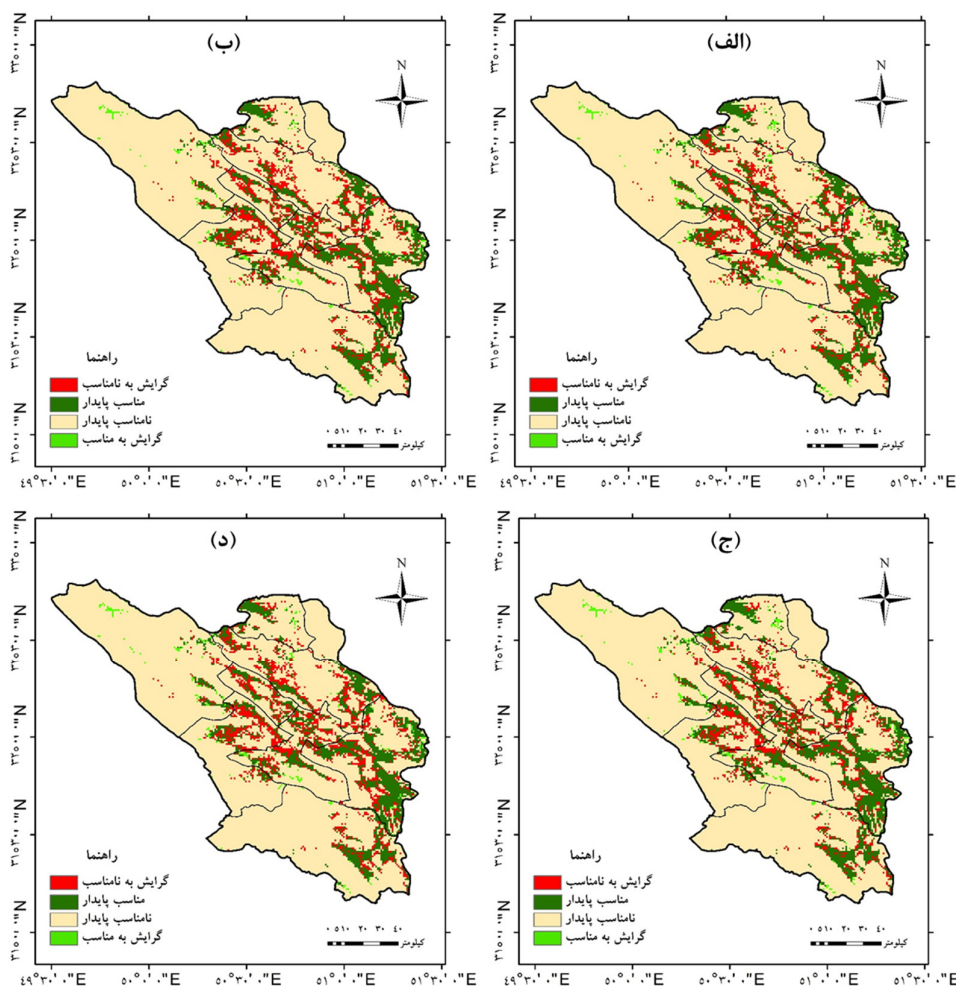
در این پژوهش، رویشگاه‌های مطلوب امروزی استپی بیابانی در محدوده استان چهارمحال و بختیاری واقع در گستره زاگرس مرکزی مدل‌سازی شد و برآوردهایی از پیامدهای تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ بر پراکنش این گونه به دست آمد. بر اساس یافته‌های حاصل از مدل اجماعی، در حدود ۲۲/۳۷ درصد (۳۶۹۸/۷۷ کیلومتر مربع) از مساحت استان چهارمحال و بختیاری به عنوان رویشگاه مطلوب استپی بیابانی برآورد شد. به نظر می‌رسد بخش‌های شرقی، مرکز و جنوب شرق استان (شامل شهرستان‌های بروجن، شهرکرد، لردگان و کیار) در مقایسه

با سایر مناطق از اهمیت رویشگاهی بیشتری برای استپی بیابانی برخوردار هستند.

بر اساس نتایج مطالعه، پیش‌بینی می‌شود که بخش وسیعی از رویشگاه‌های مطلوب امروزی استپی بیابانی به واسطه تغییر اقلیم، نامطلوب خواهند شد. برآوردهای حاصل از سناریوهای مختلف اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند که در حدود ۱۸/۷۲ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۵۰) تا ۴۲/۸۷ درصد (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) از رویشگاه‌های امروزی استپی بیابانی به واسطه تغییر اقلیم نامطلوب خواهد شد. بر اساس یافته‌ها، سناریو RCP8.5 نسبت به سه سناریوی دیگر اثرات شدیدتری بر گستره رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی خواهند داشت. این موضوع با توجه به شدت تغییرات

می‌گذارند. ملاحظه تمام این فرآیندها در مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس جغرافیایی وسیع ضروری نیست و غیر ممکن است (۲۱).

اقلیمی در این سناریو قابل پیش‌بینی بود. علاوه بر تغییر اقلیم، عوامل دیگری از جمله توانایی پراکنش، روابط بین گونه‌ای مانند رقابت یا چرای دام و پیامدهای فعالیت انسان نیز به شدت بر بقا و پایداری این گونه گیاهی تأثیر



شکل ۵: تغییر در رویشگاه‌های مطلوب استپی بیابانی از شرایط اقلیمی امروزی تا آینده (سال ۲۰۷۰) بر اساس مدل MRI-CGCM3 با چهار سناریو: الف) RCP2.6، ب) RCP4.5، ج) RCP6، د) RCP8.5

Artemisia sieberi (۶) و *mucronata* (۲) پیش‌بینی شده است.

مدل‌های مورد بررسی بر اساس شاخص‌های AUC و TSS در رتبه‌های خوب تا عالی قرار گرفتند. مدل جنگل تصادفی بهترین پیش‌بینی را داشت و قابل‌اعتمادترین مدل در بین هفت مدل مورد بررسی برای پیش‌بینی پراکنش گونه تعیین شد. مطالعات قبلی نیز بر قابلیت بالای مدل

کاهش گستره جغرافیایی جنس استپی بیابانی در پژوهش‌های دیگر (از جمله ۱۴ و ۲۸) پیش‌بینی شده است. محدودتر شدن پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی متعدد به واسطه تغییر اقلیم در مناطق مختلف کشور، از جمله در زاگرس مرکزی در رابطه با گونه *Quercus brantii* (۱۹)، گونه *Bromus tomentellus* (۴۱)، *Pistacia atlantica* (۳۴) و در ایران مرکزی در رابطه با گونه *Daphne*

جنگل تصادفی در مقایسه با مدل‌های دیگر در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای تأکید نموده‌اند (۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۲۷). مدل جنگل تصادفی، پیش‌بینی خود را با ایجاد هزاران درخت و در مجموع با یک میانگین‌گیری از آن‌ها انجام می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام‌شده، مدل جنگل تصادفی به تنهایی می‌تواند عملکردی برابر با میانگین خروجی‌های چندین روش مدل‌سازی داشته باشد. جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها به شمار می‌رود (۱۵).

یافته‌های این پژوهش تأیید می‌کند که میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی و هم‌دمایی نقش بسیار مهمی در انتخاب رویشگاه و پراکنش استپی بیابانی دارد. در مطالعات مختلفی که در مورد مطلوبیت رویشگاه‌های گونه‌های مرتعی مانند گونه *Artemisia aucheri* Boiss. (۵)، گونه‌های *Bromus tomentellus* و *Agropyron trichophorum* (۴۰) و گونه‌های *Astragalus podolobus* و *Astragalus caragana* (۹) انجام شده است، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال از جمله مهمترین عوامل موثر بر پراکنش گونه‌های مورد مطالعه تعیین شده است. ما و سان (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای، تأثیر تغییرات اقلیمی بر رویشگاه‌های *Stipa purpurea* را در چین مورد مطالعه قرار دادند. این محققان دما را مهمترین عامل موثر در پراکنش این گونه تعیین نمودند. همچنین، ژو و همکاران (۲۰۱۸) دما را مهم‌ترین عامل موثر در پراکنش *Stipa tianschanica* var. *tianschanica* دانستند. در پژوهش‌های متعدد، دما به عنوان عامل مهم در پراکنش گونه مورد مطالعه شناسایی شده است (۳، ۱۷، ۲۰ و ۳۳)، که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

احتمال وقوع گونه استپی بیابانی در میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال ۱- تا ۲ درجه سانتی‌گراد، تغییرات فصلی بارندگی ۸۵ تا ۹۸ میلی‌متر، هم‌دمایی ۳۵ تا ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد حداکثر می‌باشد. این گونه توان بالایی

برای سازگاری و استقرار در دامنه وسیع تغییرات دمایی را نشان می‌دهد و در بیشتر مناطق غیر از مناطق بسیار مرطوب یا بیش از حد خشک حضور مناسبی دارد (۱۳). بر اساس یافته‌های حاصل از این مطالعه، احتمال حضور بهینه گونه در مجموع بارندگی سالیانه رویشگاه گونه ۲۴۵ تا ۳۲۵ میلی‌متر می‌باشد. فراهانی و همکاران (۲۰۱۲) میانگین بارندگی سالانه رویشگاه‌های گونه استپی بیابانی در مراتع استان تهران را از ۱۵۰ میلی‌متر تا حداکثر ۳۷۸ میلی‌متر تعیین نمودند. مقیمی (۲۰۰۵) نیز دامنه بارندگی گونه استپی بیابانی در کشور را ۱۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر ذکر نمود. کمینه و بیشینه ارتفاع نقاط حضور گونه مورد مطالعه به ترتیب ۱۶۱۶ و ۲۶۳۳ متر است. بشری و شاهمرادی (۲۰۰۴) دامنه ارتفاعی گونه استپی بیابانی را در محدوده استان قم ۱۰۰۰ تا ۲۷۰۰ متر ذکر نمودند. مقیمی (۲۰۰۵) نیز دامنه ارتفاعی گونه استپی بیابانی را ۸۸۰ تا ۲۷۰۰ متر گزارش نموده است.

استپی بیابانی می‌تواند به عنوان یک گونه گیاهی مناسب برای احیا و اصلاح در بخش عمده‌ای از مراتع کشور به شمار برود. این گونه با بیشتر گونه‌های مناطق استپی تا نیمه‌استپی همراه است. از سوی دیگر، با توجه به سازگاری بالا و ترکیبات شیمیایی مناسب این گونه در اوایل بهار و کمبود علوفه، به منظور تولید علوفه در مراتع مناسب است (۱۳). این گونه علاوه بر تولید علوفه، از نظر توانایی حفاظت از خاک نیز دارای اهمیت است. نقشه‌های پیش‌بینی رویشگاه مطلوب فعلی و آینده (شکل‌های ۲، ۴ و ۵) که در این پژوهش تهیه شده‌اند، می‌توانند در تدوین و اجرای برنامه‌ها و طرح‌های مدیریتی و حفاظتی این گونه مورد استفاده قرار گیرند. مناطقی که در این مطالعه به عنوان رویشگاه مناسب شناسایی شدند، می‌توانند جهت الویت‌بندی به منظور استقرار و معرفی مجدد استپی بیابانی مورد توجه قرار گیرند.

References

1. Abbasian, M., S. Moghim & A. Abrishamchi, 2019. Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(3-4): 1465-1483.
2. Abolmaali, M.R., M. Tarkesh & H. Bashari, 2017a. 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.
3. Abolmaali, M.R., M. Tarkesh & H. Bashari, 2017b. Assessing impacts of climate change on endangered *Kelossia odoratissima* Mozaff species distribution using Generalized Additive Model. *Journal of Natural Environment*, 70(2): 243-254. (In Persian)
4. Allouche, O., A. Tsoar & R. Kadmon, 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43: 1223-1232
5. Amiri, M., M. Tarkesh & R. Jafari, 2019a. Predicting the climatic Ecological Niche of *Artemisia aucheri* Boiss in Central Iran using species distribution modeling. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8(2): 61-79. (In Persian)
6. Amiri, M., M. Tarkesh & R. Jafari, 2019b. Predicting the distribution of *Artemisia sieberi* Besser under climate change in the steppe and semi-steppe of Iran-Touranian region. *Desert Management*, 7(13): 29-48. (In Persian)
7. Andersen, M.A., 2010. Predicting impacts of climate change on biodiversity: Geographic range shift. *Forum on Public Policy: A Journal of the Oxford Round Table*, 3: 1.
8. Araújo, M.B. & M. New, 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22: 42-47.
9. Ardestani, E.G., M. Tarkesh, M. Bassiri & M.R., Vahabi, 2015. Potential habitat modeling for reintroduction of three native plant species in central Iran. *Journal of Arid Land*, 7(3): 381-390.
10. Ashrafzadeh, M.R., A.A. Naghipour, M. Haidarian, & I. Khorozyan, 2019a. Modeling the response of an endangered flagship predator to climate change in Iran. *Mammal Research*, 64(1): 1-13.
11. Ashrafzadeh, M.R., A.A. Naghipour, M. Haidarian, S. Kusza & D.S. Pilliod, 2019b. Effects of climate change on habitat and connectivity for populations of a vulnerable, endemic salamander in Iran. *Global Ecology and Conservation*, 19: e00637.
12. Babaeian, I., R. Modirian, M. Karimian & M. Zarghami. 2015. Simulation of climate change in Iran during 2071- 2100 using PRECIS regional climate modelling system. *Desert*, 20: 123-134.
13. Bashari, H., & A.A. Shahmoradi, 2004. Autecology three rangeland species *Stipa hohenackeriana*, *Artemisia sieberi*, *Ferula gumosa* in ranges ecosystems of Ghom province. *Journal of Range and Desert Research*, 11(3): 287-307. (In Persian)
14. Ben Mariem, H., & M. Chaieb, 2017. Climate change impacts on the distribution of *Stipa tenacissima* L. Ecosystems in North African arid zone-a case study in Tunisia. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(3): 67-82
15. Cheng, L., S. Lek, S. Lek-Ang & Z. Li, 2012. Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. *Limnologica*, 42(2): 127-136.
16. Farahani, E., A.A. Shahmoradi & S. Adibi, 2012. Autecology of *Stipa hohenackeriana* Lrm & Rupr in Tehran province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(1): 149-158. (In Persian)
17. Farzadmehr, J., & H. Sangooni, 2019. Determination of potential habitat of *Anchusa italica* Retzius in Khorasan Razavi province using enhanced generalized model (GBM). *Rangeland*, 13(4): 621-631. (In Persian)
18. Filipe, A.F., D. Markovic, F. Pletterbauer, C. Tisseuil, A. De Wever, S. Schmutz, N. Bonada & J. Freyhof, 2013. Forecasting fish distribution along stream networks: brown trout (*Salmo trutta*) in Europe. *Diversity and Distributions* 19: 1059-1071.
19. Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani & M., Tatian, 2017a. Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus brantii*) using species distribution modelling in Central Zagros for conservation planning. *Journal of Environmental Studies*, 43: 497-511. (In Persian)
20. Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani & M. Tatian, 2017b. Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(3): 1-14. (In Persian)
21. Hamann, A. & T. Wang, 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. *Ecology*, 87: 2773-2786
22. Hannah, L., G.F. Midgley, T.E. Lovejoy, W.J. Bond, M. Bush, J.C. Lovett, D. Scott, F.I. Woodward, 2002. Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conservation Biology*, 16: 264-268.
23. Hilbert, D.W., L. Hughes, J. Johnson, J.M. Lough, T. Low, R.G. Pearson, R.W. Sutherst, & S. Whittaker, 2007. Biodiversity conservation research in a changing climate. *Common wealth of Australia*, Canberra, 74 pp.

24. Hunnam, P., 2011. Conservation of biodiversity in the Central Zagros Landscape conservation zone: Mid-Term evaluation report. Government of the Islamic Republic of Iran, United Nations Development Programme, Global Environment Facility, Project No. PIMS 2278.
25. Jaafari, A., D.M. Gholami & E.K. Zenner, 2017. A Bayesian modeling of wildfire probability in the Zagros Mountains, Iran. *Ecological informatics*, 39: 32-44.
26. Jowkar, H., S. Ostrowski, M. Tahbaz & P. Zahler, 2016. The conservation of biodiversity in Iran: threats, challenges and hopes. *Iranian Studies*, 49: 1065-1077.
27. Lin, C.T. & C.A. Chiu, 2019. The Relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. (Trochodendraceae) in Taiwan: Ensemble distribution modeling and climate change impacts. *Forests*, 10(1): 7.
28. Lv, X. & G. Zhou, 2018. Climatic suitability of the geographic distribution of *Stipa breviflora* in Chinese temperate grassland under climate change. *Sustainability*, 10(10): 3767.
29. Ma, B. & J. Sun, 2018. Predicting the distribution of *Stipa purpurea* across the Tibetan Plateau via the MaxEnt model. *BMC Ecology*, 18(1): 10.
30. Moghimi, J., 2005. Introduction of some important rangeland species for the development and improvement of Iranian rangelands. Arvan Publication, 670p. (In Persian)
31. Motamedi, J., E. Azad mosavi, M. Miryaghoobadeh & M. Souri, 2019. Desirability of habitats of Jashir species (*Prangos ferulacea*) in mountainous rangelands of Urmia. *Rangeland*, 13(3): 408-422. (In Persian)
32. Naghipour Borj, A., 2019. Predicting of fire occurrence using Bayesian belief network in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Rangeland*, 13(1): 90-100. (In Persian)
33. Naghipour, A.A., Z. Ostovar & E. Asadi, 2019a. The influence of climate change on distribution of an endangered medicinal plant (*Fritillaria Imperialis* L.) in Central Zagros. *Journal of Rangeland Science*, 9(2): 159-171.
34. Naghipour, A.A., M. Haidarian, & H. Sangoony, 2019b. Predicting the impact of climate change on the distribution of *Pistacia atlantica* in the Central Zagros. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 6 (13): 197-214. (In Persian)
35. Pachauri, R.K., M.R. Allen, V. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ, J. Church, L. Clarke, Q. Dahe, & P. Dasgupta, 2014. Climate change 2014: synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, IPCC, 153p.
36. Papes, M. & P. Gaubert., 2007: Modeling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions*, 13: 890-902 .
37. Peterson, A.T., 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor*, 103: 599-605 .
38. Potta, S., 2004. Application of stochastic downscaling techniques to global climate model data for regional climate prediction, MSc. Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Sri Venkateswara University, 153p.
39. Rehfeldt, G.E., N.L. Crookston, C. Sáenz-Romero, & E.M. Campbell, 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22: 119-141 .
40. Sangoony, H., M. Vahabi, M. Tarkesh, H. Eshghizadeh & S. Soltani, 2017. Characterization of ecosystem's climate and geographical distribution of two pasture species using Random Forest modeling in Central Zagros region. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 5(10): 1-17. (In Persian)
41. Sangoony, H., M. Vahabi, M. Tarkesh & 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.
42. Soberón, J. & A.T. Peterson, 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2: 1-10 .
43. Thuiller, W., D. Georges, R. Engler, F. Breiner, M.D. Georges & C.W. Thuiller, 2016. Package 'biomod2'. <https://cran.r-project.org/package=biomod2>.
44. Zare Chahouki, M., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2018. Prediction of potential habitat for *Stipa barbata* species using maximum entropy model (Case Study: Taleghan Miany rangelands). *Rangeland*, 12(1): 35-47. (In Persian)
45. Zhu, Y., W. Wei, H. Li, B. Wang, X. Yang & Y. Liu, 2018. Modelling the potential distribution and shifts of three varieties of *Stipa tianschanica* in the eastern Eurasian Steppe under multiple climate change scenarios. *Global ecology and conservation*, 16: p.e00501.