سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال هشتم / شماره سوم) پاییز ۱۳۹۶
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش بالقوه گونه بادامک (*Amygdalus scoparia*) با استفاده از مدل‌سازی اجماعی در زاگرس مرکزی

مریم حیدریان آقاخانی[1*]، رضا تمرتاش[2]، زینب جعفریان[3]، مصطفی ترکش اصفهانی[4]، محمدرضا طاطیان[2]

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
٤. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی با ارزش، امری ضروری در راستای حفاظت و مدیریت آن‌ها محسوب می‌شود. بادامک (*Amygdalus scoparia*) یکی از گونه‌های وحشی بادام و بومی ایران است. این مطالعه با هدف پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه بادامک در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی صورت گرفت. پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، شامل مدل خطی تعمیم‌یافته، آنالیز طبقه‌بندی درختی، شبکه عصبی مصنوعی، روش بوستینگ تعمیم‌یافته و جنگل تصادفی در چارچوب روش اجماعی و با استفاده از بسته Biomod در نرم‌افزار R مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که همه مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه، مقادیر AUC بالاتر از ۰/۹ و عملکرد عالی دارا بودند. میانگین دمای خشک‌ترین فصل و بارندگی سالانه در حدود ۸۵ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه داشتند. بر اساس نتایج حاصل از اجماع مدل‌ها، ۹ درصد (۱٤۸٦۸۰ هکتار) از مساحت استان برای گونه بادامک، دارای تناسب رویشگاهی زیاد تعیین شد. مساحت رویشگاه مطلوب گونه در شرایط آب و هوایی حال حاضر و آینده توسط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه گردید. تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی $RCP_{٤/٥}$ و $RCP_{٨/٥}$ نشان داد که وسعت رویشگاه گونه کاهش می‌یابد (به ترتیب ٤۳ و ۵۹ درصد) و در برخی مناطق نیز شاهد بروز مناطق مستعد وقوع گونه خواهیم بود (به ترتیب ۱۳۵ و ۱٤۰ درصد). از نتایج این مطالعه می‌توان در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و اصلاحی گونه بادامک استفاده نمود.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ۲۰ تیر ۱۳۹٦
پذیرش: ۱٤ شهریور ۱۳۹٦
دسترسی اینترنتی: ۲۰ آبان ۱۳۹٦

واژه‌های کلیدی:
شبکه عصبی مصنوعی
روش بوستینگ تعمیم‌یافته
Biomod
استان چهارمحال و بختیاری

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: ma_haidarian@yahoo.com

مقدمه

ایران یکی از خواستگاه‌های مهم بادام در جهان به شمار رفته و بنابراین از لحاظ گونه‌های بادام وحشی غنی است (۱۰). بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach) یکی از گونه‌های وحشی بادام و بومی ایران است (٤ و ۱۲). محصولات فرعی حاصل از بادامک، صمغ فارسی، بادام تلخ، روغن هسته بادام و ... است. ایران به سبب موقعیت جغرافیایی و محیطی، منبع تولید این محصولات است و تنها سالانه بیش از ٤۰۰۰۰۰ کیلوگرم صمغ فارسی را صادر می‌کند (۱۳). همچنین بادامک نقش مهمی در کنترل فرسایش خاک دارد. در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی به همراه تأثیر عوامل دیگر مانند دخالت‌های انسانی و توسعه صنعتی باعث ایجاد تغییرات و تنش در اکوسیستم‌های طبیعی جنگل‌های بادامک شده است (۱۱ و ۱۸). تغییر اقلیم حاصل از فعالیت‌های انسانی با چنان سرعتی رخ می‌دهد که بسیاری از گونه‌ها قادر به سازگاری با آن نخواهند بود. درواقع پیش‌بینی می‌شود که در پایان این قرن، بخش بزرگی از تنوع زیستی جهانی را از دست بدهیم (١٦). جابجایی یا تغییر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، یک روش به‌منظور پایدار ماندن آن‌ها در برابر تغییر اقلیم خواهد بود. بنابراین لازم است که تصمیمات مدیریتی با درک اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها و کاهش اثرات مخرب تغییر اقلیم بر تنوع زیستی اتخاذ شوند (۳٦). مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Species Distribution Models) پرکاربردترین روش‌ها به‌منظور پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات پراکنش گونه‌های گیاهی هستند (۳۸). این مدل‌ها به‌عنوان مدل‌های میدان اکولوژیک (Ecological Niche Modeling)، مدل‌های اقلیمی رویشگاه و یا مدل‌های مطلوبیت رویشگاه نیز شناخته شده‌اند (۱۵ و ٤٤). از جمله مطالعات صورت گرفته در کشور در خصوص مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای می‌توان به مطالعات سنگونی و همکاران (۹)، برنا و همکاران (۳)، رحمتی و همکاران (٦) و جعفریان و همکاران (۵) اشاره نمود.

تعداد زیاد مدل‌های پراکنش گونه‌ای موجود، انتخاب مناسب‌ترین مدل را برای کاربران مشکل نموده است (۲۲). همچنین تجزیه و تحلیل‌های اخیر نشان داده‌اند که اختلاف بین مدل‌های مختلف ممکن است بسیار زیاد باشد و انتخاب مدل مناسب هم مشکل است، به ویژه، زمانی که مدل‌ها به منظور پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم استفاده می‌شوند (۳۲).

Biomod یک بسته رایانه‌ای به منظور اجماع پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های پراکنش گونه‌ای است که برای اولین بار چندین مدل را در اکولوژی مورد استفاده قرار داد؛ به عبارت دیگر اکولوژیست‌ها رابطه بین حضور یا فراوانی گونه‌ها و متغیرهای محیطی تعیین شده را توسط الگوریتم به کار رفته و فرضیات زیربنایی آن توصیف نمودند (٤۳). Biomod مانند کتابخانه‌ای در برنامه R است که توانایی مقایسه و ترکیب مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و ترکیب R با سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارد (٤۱).

مطالعات بسیاری با استفاده از مدل‌سازی اجماعی و بسته Biomod، به بررسی پیامدهای بالقوه تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها پرداخته‌اند. از جمله هود و همکاران (۲۳) در مناطق حفاظت شده اروپا به مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش ۳۰ گونه آوندی بومی مناطق کوهستانی پرداختند و پراکنش بالقوه حال حاضر و آینده گونه‌ها را پیش‌بینی نمودند. نتایج این مطالعه، کاهش دامنه پراکنش گونه و همچنین جابجایی گونه‌ها به سمت مناطق مناسب اقلیمی در شمال را پیش‌بینی نمود. در کانادا، پریه و بلویس (۳۳) به مدل‌سازی تناسب رویشگاه ۵ گونه درختی در شمال غربی جنگل‌های آمریکا پرداختند و پیش‌بینی نمودند که ۵ تا ۲۱ درصد از رویشگاه‌هایی که از نظر اقلیمی در حال حاضر برای گونه مناسب هستند، در خطر نامناسب شدن هستند. همچنین در داخل کشور سنگونی و همکاران (۳۷) اثرات تغییر اقلیم را بر پراکنش جغرافیایی و جابجایی گونه مرتعی *Bromus tomentellus* در زاگرس مرکزی، بررسی نمودند. نتایج نشان داد که گونه مورد مطالعه، ٦۵ درصد از رویشگاه مناسب خود را به علت تغییر اقلیم در سال ۲۰۸۰ از دست خواهد داد، درحالی‌که ۱۳/۹ درصد از رویشگاه که در حال حاضر نامناسب است به علت تغییر اقلیم

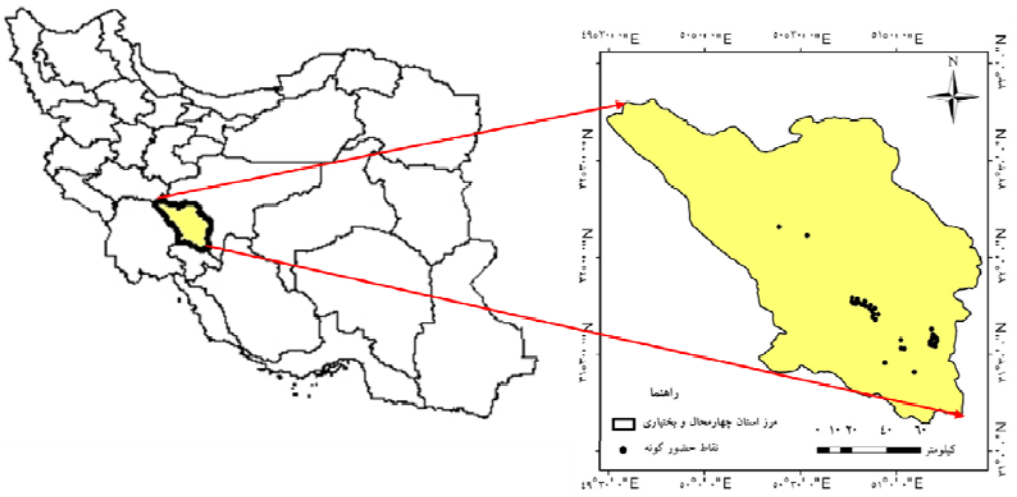
مناسب خواهد شد. آن‌ها پیش‌بینی نمودند که رویشگاه این گونه تا ۵۱ درصد کوچک‌تر از حال حاضر خواهد شد.

کفاش و همکاران (۲۵) به بررسی پراکنش گونه سوسمار دم تیغی پرداختند. نقشه‌های پراکنش بالقوه حال حاضر و آینده گونه تحت سناریو تغییر اقلیم تولید گردید. بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته، در آینده، وسعت رویشگاه مطلوب اقلیمی گونه افزایش خواهد یافت. با توجه به اهمیت این موضوع، این مطالعه با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر پراکنش گونه بادامک و تعیین گستره جغرافیایی حال حاضر آن در استان چهارمحال و بختیاری واقع در زاگرس مرکزی صورت گرفت. همچنین پراکنش آینده این گونه در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی $RCP_{4/5}$ و $RCP_{8/5}$ و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC پیش‌بینی گردید. در این مطالعه از سه متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و متغیرهای زیست‌اقلیمی مشتق شده از دما و بارش به عنوان ورودی به مدل‌ها استفاده شد. پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم یافته (Generalized Linear Models)، آنالیز طبقه‌بندی درختی (Classification Tree Analysis)، شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks)، جنگل تصادفی (Random Forest) و روش بوستینگ تعمیم یافته (General Boosting Method) بودند که در چارچوب پیش‌بینی توسط مدل‌سازی اجماعی و با استفاده از بسته Biomod در نرم‌افزار R مورد ارزیابی قرار گرفتند. از نتایج این مطالعه در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و اصلاحی گونه بادامک می‌توان استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

گونه و منطقهٔ مورد مطالعه

تصور می‌شود که مرکز انتشار بادام از مناطق خشک آسیای مرکزی است (۲۶). بعضی گونه‌های بادام وحشی در جنوب غربی آسیای مرکزی یافت می‌شوند. بادامک یکی از گونه‌های وحشی بادام و بومی ایران و متعلق به خانواده Rosaceae است. این گونه با نام‌های بادامک، بادام کوهی و یا بادام اسکوپاریا شناخته می‌شود که مساحت نسبتاً زیادی از جنگل‌های زاگرس را به خود اختصاص داده است. بادامک، درختچه‌ای است به ارتفاع حداکثر ۶ متر که از قاعده منشعب و پرشاخه می‌شود. دارای شاخه‌های ترکه‌ای و راست و برگ‌های استوانه‌ای سبز رنگی است که بیشتر در فصل بهار دیده می‌شود (٤). این مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی در محدودهٔ ′۰۰ °۳۱ تا ′۰۰ °۳۳ شمالی و ′۳۰ °٤۹ تا ′۰۰ °۵۱ شرقی و در مساحتی حدود ۱/۶ میلیون هکتار انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در کشور ایران و نقاط حضور گونه بادامک

روش تحقیق

ابتدا با بازدید از منطقه مورد مطالعه مناطقی که در آن گونه بادامک غالب است مشخص گردید. سپس برداشت مختصات جغرافیایی نقاط وقوع گونه با استفاده از جی‌پی‌اس (GPS) انجام شد (شکل ۱). در ثبت نقاط وقوع گونه، سعی شد مناطقی به عنوان وقوع در نظر گرفته شوند که علاوه بر غالبیت گونه حداقل یک لکه به مساحت یک کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار دهند، همچنین نقاط نمونه‌برداری شده از یکدیگر حداقل یک کیلومتر فاصله داشتند. مطالعات صحرایی در بهار و تابستان سال ۱۳۹٤ انجام شد.

مدل‌های گردش عمومی ابزارهایی قابل اعتماد و قدرتمند برای افزایش درک عوامل مؤثر بر اقلیم و بهبود توانایی پیش‌بینی الگوهای اقلیمی آینده هستند (۳٤). در این مطالعه از مدل HadGEM2-CC استفاده شد که صحت پیش‌بینی آن در نیمکره شمالی تأیید شده است (۳۹). RCP_s (Representative Concentration Pathways) سناریوهای تغییر اقلیم هستند که به منظور استفاده در ورودی مدل گردش عمومی جو تدوین شده‌اند و نشان‌دهنده روند غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن، بخار آب، اکسیدهای ازت، متان و ازن هستند که این روندها در گزارش ارزیابی پنجم در سال ۲۰۱٤ پذیرفته شده‌اند (۲۹). این سناریوها جایگزین گزارش ویژه انتشار گازهای گلخانه‌ای (SRES) شدند که در سال ۲۰۰۰ توسط هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) انتشار یافت.

در این مطالعه از دو سناریو $RCP_{٤/٥}$ و $RCP_{٨/٥}$ استفاده شد که به ترتیب سناریوهای متعادل و بدبینانه هستند. بر اساس $RCP_{٤/٥}$، پیش‌بینی شده که افزایش گرمایش جهانی بین سال‌های ۲۰٤٦ تا ۲۰٦٥ به ۰/۹ تا ۲ و میانگین ۱/٤ درجه سانتی‌گراد برسد. همچنین بر طبق $RCP_{٨/٥}$، انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ ادامه می‌یابد و غلظت معادل دی‌اکسید کربن اتمسفری آن به حدود ppm ۲۰۰۰ در سال ۲۲۵۰ می‌رسد که تقریباً ۷ برابر قبل از صنعتی شدن است. همچنین بر اساس $RCP_{٨/٥}$ پیش‌بینی شده که افزایش گرمایش جهانی بین سال‌های ۲۰٤٦ تا ۲۰٦٥ به ۱/٤ تا ۲/٦ و میانگین ۲ درجه سانتی‌گراد برسد (۲٤).

در این مطالعه داده‌های دو دوره زمانی پایه (حال حاضر) شامل میانگین سال‌های ۱۹۹۰-۱۹٦۰ و یک دوره زمانی آینده شامل سال‌های ۲۰٦۰-۲۰٤۱ (به عنوان سال ۲۰۵۰) در نظر گرفته شد. لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) و دما و بارش ماهیانه منطقه مورد مطالعه با قدرت تفکیک‌پذیری ۳۰ arc-seconds، به صورت ریز مقیاس شده از پایگاه اطلاعاتی Worldclim (www.worldclim.org) اخذ گردید. با استفاده از داده‌های دما و بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استان (۵۰ ایستگاه)، این نقشه‌ها اصلاح شدند. سپس توسط لایه‌های دما و بارندگی اصلاح شده، لایه‌های ۱۹ متغیر زیست- اقلیمی (Bioclimatic Variables) در نرم‌افزار DIVA-GIS تولید شدند (جدول ۱).

از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های درصد شیب و جهت شیب تولید شد و به عنوان متغیرهای فیزیوگرافی مورد استفاده قرار گرفت. کل لایه‌های محیطی از نظر محدوده، تعداد پیکسل و سیستم تصویر در نرم‌افزار ArcGIS®10.3 یکسان‌سازی گردیدند. به منظور انتخاب متغیرهای ورودی به مدل‌ها، ابتدا وجود همبستگی بین آن‌ها توسط آزمون آماری پیرسون بررسی شد و لایه‌هایی با بیش از ۸۰ درصد همبستگی، تعیین شده و لایه‌هایی که دارای اطلاعات مشابهی بودند حذف گردیدند. پس از حذف لایه‌های دارای همبستگی بالا و غیرضروری، لایه‌های میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال، دامنه سالانه دما، مجموع بارندگی سالیانه، شاخص هم‌دمایی، تغییرات فصلی دما، میانگین بارندگی خشک‌ترین فصل، درصد شیب و جهت شیب به عنوان ورودی مدل‌ها انتخاب گردیدند.

جدول۱. توصیف اقلیمی متغیرهای زیست‌اقلیمی

نمایه متغیر	توصیف اقلیمی	نمایه متغیر	توصیف اقلیمی
BIO1	میانگین دمای سالیانه	BIO11	میانگین دمای سردترین فصل سال
BIO2	میانگین دامنه دمای روزانه	BIO12	مجموع بارندگی سالانه
BIO3	شاخص هم‌دمایی ($100x\ (BIO_2/BIO_7)$)	BIO13	مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه
BIO4	تغییرات فصلی دما (100 × انحراف معیار)	BIO14	مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین ماه
BIO5	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	BIO15	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)
BIO6	حداقل دمای سردترین ماه سال	BIO16	مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال
BIO7	دامنه سالانه دما (BIO_5-BIO_6)	BIO17	مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال
BIO8	میانگین پربارش‌ترین فصل سال	BIO18	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال
BIO9	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	BIO19	مجموع بارندگی سردترین فصل سال
BIO10	میانگین گرم‌ترین فصل سال		

داده‌های حضور گونه و متغیرهای محیطی به منظور ایجاد مدل‌های پراکنش گونه‌ای، توسط مدل‌سازی اجماعی به کار رفتند. پنج روش مدل‌سازی شامل مدل خطی تعمیم یافته (GLM) از جمله روش‌های رگرسیون (Regression)، آنالیز طبقه‌بندی درختی (CTA) از دسته روش‌های طبقه‌بندی (Classification)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، جنگل تصادفی (RF) و روش بوستینگ تعمیم یافته (GBM) از دسته روش‌های یادگیری ماشین در قالب روش اجماعی مورد استفاده قرار گرفتند. تمام مدل‌ها، در چارچوب بسته Biomod و در برنامه R به منظور تعیین گستره جغرافیایی حال حاضر گونه بادامک و پیش‌بینی پراکنش آینده آن تحت شرایط اقلیمی جدید (تحت سناریو اقلیمی $RCP_{4/5}$ و $RCP_{8/5}$) و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC اجرا شدند.

در مدل خطی تعمیم یافته از معادلات درجه دوم، روش رگرسیون گام به گام و همچنین مقدار شاخص آکایاک (Akaike) برای محاسبه بهترین مدل استفاده شد. شبکه عصبی مصنوعی توسط اعتبارسنجی ضربدری (Cross-Validation) ۵ لایه و روش بوستینگ تعمیم یافته توسط حداکثر ۲۵۰۰ درخت و اعتبارسنجی ضربدری ۳ لایه ایجاد شد. جهت توضیحات بیشتر در مورد مدل‌ها به مطالعه ماریمون و همکاران (۲۷) مراجعه شود.

به منظور ارزیابی مدل‌ها از سطح زیر منحنی ROC یا شاخص AUC (Area Under Curve) استفاده شد (۱۸). در این مطالعه ۸۰ درصد از نقاط حضور برای تولید مدل‌ها و ۲۰ درصد به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها به صورت تصادفی انتخاب و استفاده شدند. برای افزایش دقت و کارائی هر یک از مدل‌های مورد استفاده، هر روش مدل‌سازی با ۱۰ بار تکرار اجرا شد و در هر بار تکرار تقسیم تصادفی داده‌ها انجام شد؛ بنابراین ۵۰ نقشه احتمال حضور (۵ روش مدل‌سازی، ۱۰ تکرار) برای واسنجی حال حاضر گونه و ۱۰۰ نقشه احتمال حضور (۵ روش مدل‌سازی، ۱۰ تکرار و دو سناریو) برای واسنجی ۲۰۵۰ به کار رفت. نقشه نهایی برای حال حاضر و آینده از جمع‌بندی این نقشه‌های احتمال حضور حاصل شد. سپس نقشه‌های نهایی حال حاضر و آینده حاصل از برنامه R، جهت گرفتن خروجی وارد نرم‌افزار ArcGIS®10.3 شدند. همچنین مساحت رویشگاه مطلوب گونه در شرایط آب و هوایی حال حاضر و آینده توسط نرم‌افزار ArcGIS®10.3 محاسبه گردید. منحنی‌های پاسخ ارتباط عوامل اقلیمی و احتمال وقوع گونه را نشان می‌دهند. آن‌ها ترجیح رویشگاهی و تحمل زیستی گونه را به معرض نمایش قرار می‌دهند (۱٤). در

مدل شبکه عصبی مصنوعی، منحنی پاسخ گونه در نرم‌افزار R نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی ورودی در مدل ترسیم شد.

نتایج

مقادیر AUC بین ۰/۷ تا ۰/۹ نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل و مقادیر AUC بالاتر از ۰/۹ نشان‌دهنده پیش‌بینی عالی مدل است (۴۰). کل مدل‌های مورد مطالعه، AUC بالاتر از ۰/۹ داشتند، بنابراین همه آن‌ها دارای عملکرد عالی بودند. در بین همه مدل‌ها بر اساس شاخص AUC، مدل جنگل تصادفی، مدل بوستینگ تعمیم‌یافته و شبکه عصبی مصنوعی بهترین پیش‌بینی را داشتند و پس از آن‌ها به ترتیب، آنالیز طبقه‌بندی درختی و خطی تعمیم یافته قرار داشتند (جدول ۲). بنابراین به ترتیب روش‌های یادگیری ماشین، روش‌های طبقه‌بندی و روش‌های رگرسیون بهترین عملکرد را داشتند. همچنین سهم نسبی (اهمیت) هر یک از متغیرهای وارد شده به مدل در پیش‌بینی مناطق مناسب برای حضور گونه در جدول ۳ نشان داده است. نتایج نشان داد که میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال، بارندگی سالانه، هم‌دمایی، درصد شیب، جهت شیب، تغییرات فصلی دما و میانگین بارندگی خشک‌ترین فصل، بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه بادامک داشتند (جدول ۳). ترتیب اهمیت متغیرها در تمام آن‌ها یکسان نبود. این موضوع به این علت است که مدل‌های مورد بررسی، مدل‌های همبستگی هستند و به واسطه نوع الگوریتم، درجه اهمیت متغیرها در آن‌ها ممکن است متفاوت باشد. میانگین دمای خشک‌ترین فصل و میانگین بارندگی سالانه با همدیگر در حدود ۸۵ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه داشتند. با استفاده از هر مدل، یک نقشه تناسب رویشگاه برای حال حاضر حاصل شد که نواحی مناسب برای وقوع گونه را توسط آن مدل نشان می‌دهد.

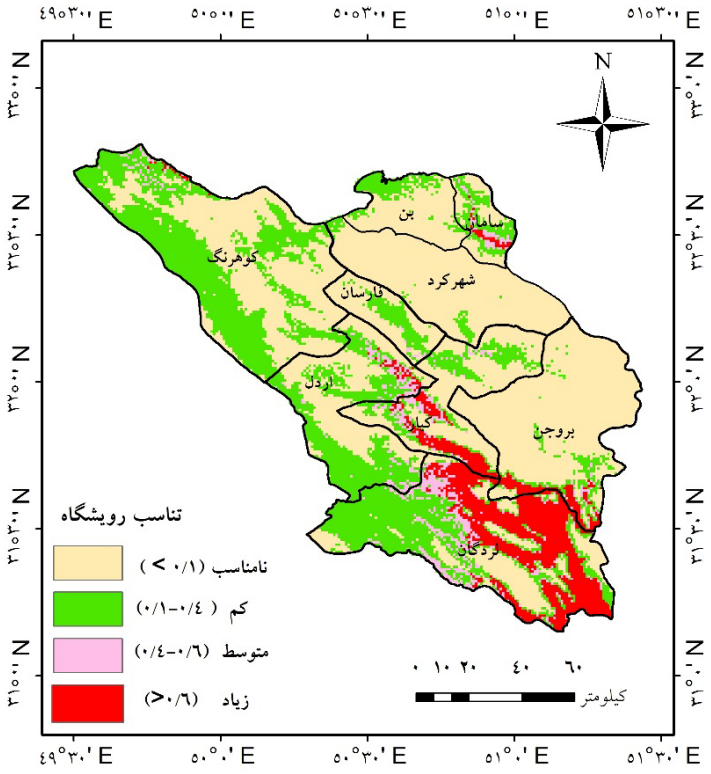
جدول۲. مقادیر AUC برای مدل‌های استفاده شده

مدل	شبکه عصبی مصنوعی	آنالیز طبقه‌بندی درختی	بوستینگ تعمیم یافته	خطی تعمیم یافته	جنگل تصادفی
مقدار AUC	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۹

جدول۳. سهم نسبی هر یک از متغیرهای استفاده شده در مدل برای مطالعه پراکنش جغرافیایی بادامک

متغیر محیطی	شبکه عصبی مصنوعی	آنالیز طبقه‌بندی درختی	بوستینگ تعمیم‌یافته	خطی تعمیم‌یافته	جنگل تصادفی	میانگین سهم نسبی در مدل‌ها (٪)
بارندگی سالیانه	۱۳/۹۲	۲۰/۲۶	۱۲/۲۷	۱۸/۶۳	۱۲/۴۴	۱۵/۵
میانگین دمای خشک‌ترین فصل	۸۰/۷۳	۷۹/۷۴	۸۶/۱	۴۵/۳۳	۵۶/۲۴	۶۹/۶۵
دامنه سالانه دما	۰/۵۱	۰	۰/۱۹	۱۱/۷۴	۹/۱۵	۴/۳۲
تغییرات فصلی دما	۰	۰	۰/۳۸	۰	۳/۲۹	۰/۷۳
درصد شیب	۴/۴۱	۰	۰/۱	۶	۱/۶۴	۲/۴۵
میانگین بارندگی خشک‌ترین فصل	۰/۴۲	۰	۰	۰	۱/۶۴	۰/۴۱
جهت شیب	۰	۰	۰/۸۶	۵	۱/۱۷	۱/۴۲
هم‌دمایی	۰	۰	۰/۱	۱۳/۱۵	۱۴/۳۲	۵/۵۱

نقشه‌های حاصل از مدل‌های مختلف متفاوت بودند ولی همپوشانی زیادی با هم داشتند. با استفاده از اجماع نتایج حاصل از تمام مدل‌ها، یک نقشه از مناطق مناسب برای پراکنش در حال حاضر آماده شد. احتمال وقوع گونه بادامک در حال حاضر در جنوب شرقی استان و در بخش‌هایی از شهرستان لردگان بیشتر است (شکل ۲). سطح رویشگاه مناسب این گونه (احتمال وقوع بیشتر از ۰/٦) با توجه به نقشه پیش‌بینی ۱٤۸٦۸۰ هکتار است که حدود ۹ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است (جدول ٤).



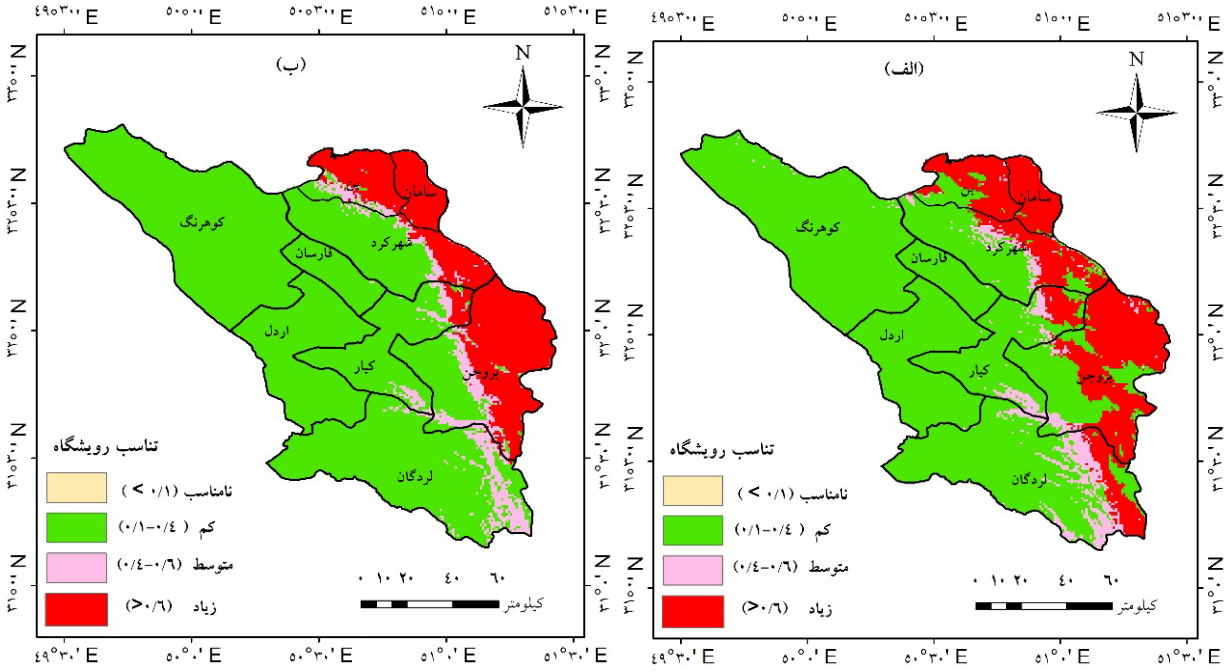
شکل۲. نقشه مطلوبیت نسبی شرایط محیطی بادامک حاصل از اجماع مدل‌های مورد بررسی در شرایط حال حاضر

جدول۴. مساحت طبقات نقشه پراکنش جغرافیایی بادامک

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	احتمال وقوع گونه
٥٦	۹۱۱٥۳۷	< ۰/۱
۳۰	٤۹۷۷۲۸	۰/۱- ۰/٤
٥	۷٥۷٦٤	۰/٤- ۰/٦
۹	۱٤۸٦۸۰	> ۰/٦

همچنین با مطالعه تغییر اقلیم، نقشه پراکنش بادامک بر مبنای نیازهای محیطی آن، تحت سناریو اقلیمی $RCP_{٤/٥}$ (شکل ۳ الف)، سناریو اقلیمی $RCP_{۸/٥}$ و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC برای سال ۲۰٥۰ تولید شد (شکل ۳ ب). با افزایش دما در اثر تغییر اقلیم، وسعت رویشگاه بادامک در بخش‌هایی از شهرستان لردگان کاهش خواهد یافت. در

شکل‌های ۲ و ۳، رنگ کرم نشان‌دهنده احتمال وقوع کمتر از ۰/۱ (رویشگاه نامناسب)، رنگ سبز نشان‌دهنده احتمال وقوع ۰/۱ تا ۰/٤ (تناسب رویشگاهی کم)، رنگ صورتی نشان‌دهنده احتمال وقوع ۰/٤ تا ۰/٦ (تناسب رویشگاهی متوسط) و رنگ قرمز نشان‌دهنده احتمال وقوع بیشتر از ۰/٦ (تناسب رویشگاهی زیاد) را نشان می‌دهد. برای تهیه نقشه پیش‌بینی جابجایی دامنه گونه در سال ۲۰۵۰، ابتدا یک سطح بحرانی (در این مطالعه، احتمال حضور بیشتر از ۰/٦) مورد استفاده قرار گرفت. این سطح، صحت مدل را بر اساس معیار AUC حداکثر می‌نمود. بر اساس آن، نقشه‌ها به دو طبقه مناسب و نامناسب طبقه‌بندی شدند. سپس نقشه‌های حال حاضر و آینده دو به دو مقایسه شدند (شکل ٤ و جدول ۵).

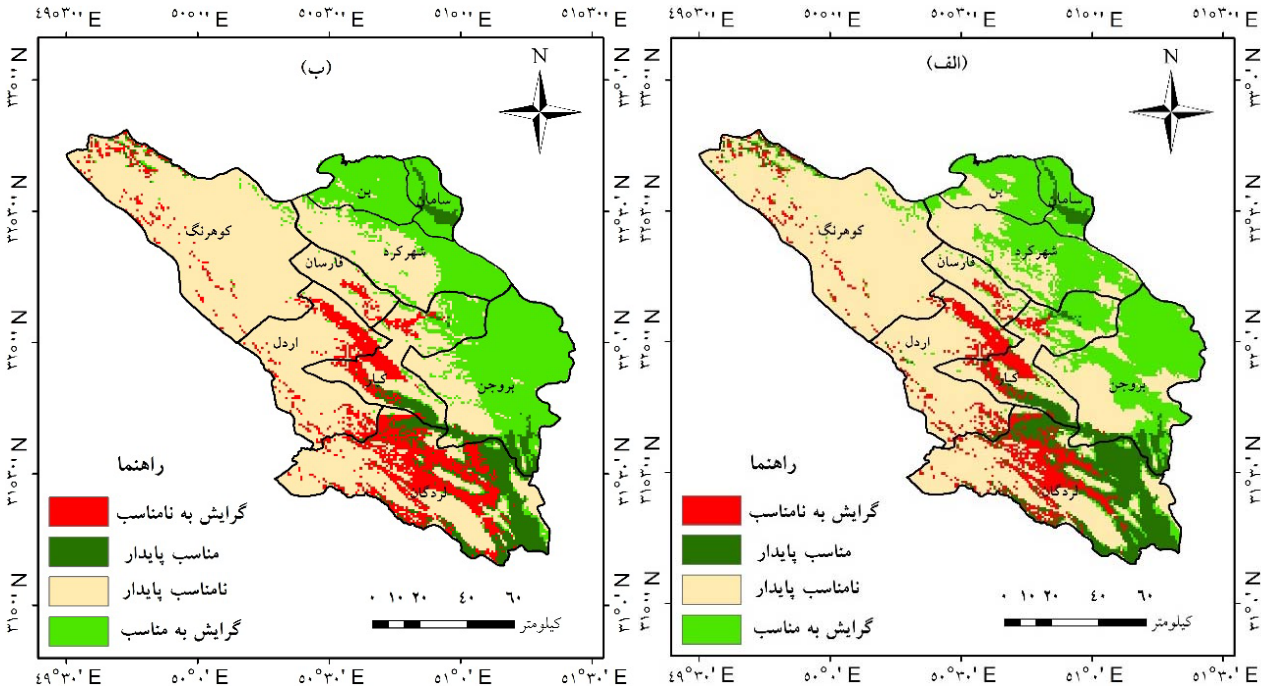


شکل۳. نقشه مطلوبیت نسبی شرایط محیطی بادامک حاصل از اجماع مدل‌های مورد بررسی در سال ۲۰۵۰ بر اساس (الف) $RCP_{۴/۵}$ و (ب) $RCP_{۸/۵}$ تحت مدل گردش عمومی HadGEM2-CC

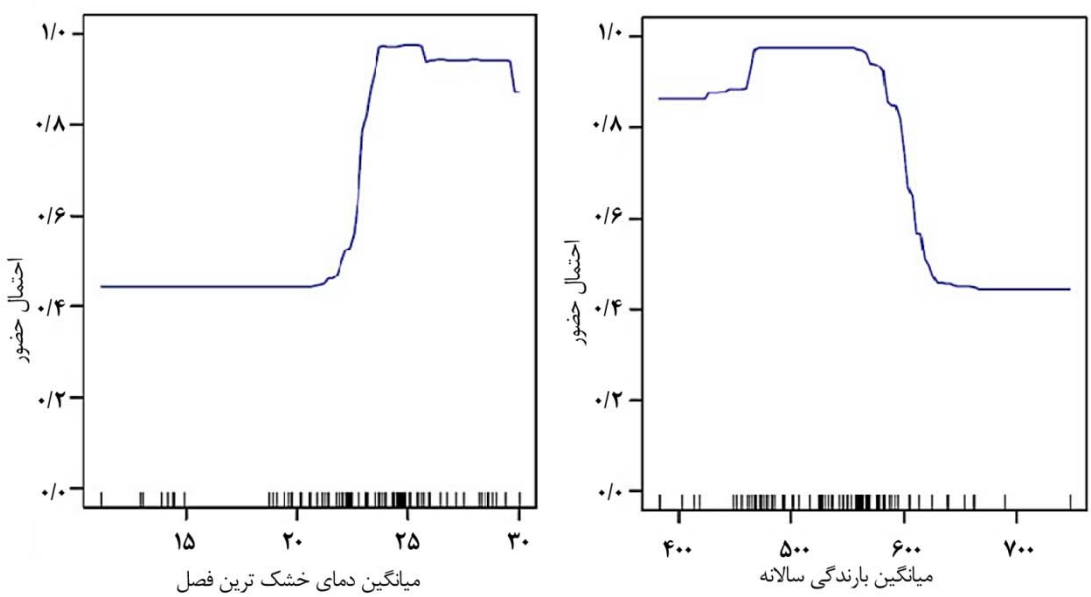
جدول۵. تغییرات سطح رویشگاه گونه بادامک در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی $RCP_{۴/۵}$ ، $RCP_{۸/۵}$ و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC در مقایسه با شرایط محیطی حال حاضر

سناریو	سطح حضور پایدار (هکتار)	سطح غیاب پایدار (هکتار)	سطح رویشگاه از دست رفته (هکتار)	سطح رویشگاه مناسب اقلیمی جهت وقوع گونه (هکتار)	سطح رویشگاه مناسب اقلیمی جهت وقوع گونه (درصد)	سطح رویشگاه مناسب از دست‌رفته (درصد)
$RCP_{٤/٥}$	۱٦۹۷۸۹	۹۳٤۱۱۹	۱۲۷٤۸۱	٤۰۲۳۰۹	۱۳۵	٤۳
$RCP_{۸/٥}$	۱۲۲۱۸٤	۹۲۲۸۲۸	۱۷۵۰۸٦	٤۱۳٦۰۰	۱٤۰	۵۹

منحنی‌های پاسخ متغیرهای مهم مؤثر بر وقوع گونه بادامک بر اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی به عنوان نمونه در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس آن‌ها، احتمال وقوع حداکثر گونه بادامک (احتمال حضور بیش از ۰/٦ گونه) در میانگین دمای خشک‌ترین فصل ۲٤ تا ۲٦ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالیانه ٤۰۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر است.



شکل۴. تغییرات محدوده جغرافیایی مناسب برای گونه بادامک در شرایط آب و هوایی حال حاضر در مقایسه با سال ۲۰۵۰ بر اساس (الف) $RCP_{۴/۵}$ (ب) $RCP_{۸/۵}$ تحت مدل گردش عمومی HadGEM2-CC



شکل۵. منحنی‌های پاسخ متغیرهای مهم مؤثر بر وقوع گونه بادامک حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی

بحث و نتیجه‌گیری

هنگامی که مفهوم میدان اکولوژیک در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای به کار برده می‌شود، فرض بر این است که گونه‌ها در تعادل با شرایط محیطی حاضر (اقلیم) هستند و فرضیات دیگری شامل: توانایی جابجایی در چشم‌انداز (پراکنش یا مهاجرت)، روابط بین گونه‌ای مانند رقابت یا شکار و تأثیرات

انسان در مطالعات مدل‌های پراکنش در نظر گرفته نمی‌شود (۱۹). ملاحظه تمام این فرآیندها در مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس جغرافیایی وسیع ضروری نیست و غیر ممکن است (۲۱). همچنین عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی برای مدل‌سازی در سطح منطقه‌ای کفایت می‌کنند و عوامل زیستی مانند روابط بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای در مقیاس محلی یا خرداقلیم مؤثر هستند (۲۸ و ۳۱). علیرغم کمبودها، مدل‌های پراکنش گونه‌ای الگوهای کلی جابجایی گونه‌ها را پیش‌بینی می‌نمایند که اغلب با روندهای زیستی مشاهده شده منطبق هستند (۳۰).

کل مدل‌های مورد مطالعه، AUC بالاتر از ۰/۹ داشتند، بنابراین همه آن‌ها دارای عملکرد عالی بودند. در بین همه مدل‌ها بر اساس شاخص AUC، مدل جنگل تصادفی، بوستینگ تعمیم‌یافته و شبکه عصبی مصنوعی بهترین پیش‌بینی را داشتند و پس از آن‌ها به ترتیب، مدل آنالیز طبقه‌بندی درختی و خطی تعمیم یافته قرار داشتند. چنگ و همکاران (۱۷) بیان نمودند که مدل جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست. زارع چاهوکی و همکاران (۷) در مطالعه خود نشان دادند که شبکه عصبی مصنوعی نیز قابلیت بالایی در پیش‌بینی پراکنش مکانی مورد بررسی داشته است. روش مدل‌سازی اجماعی نیز به‌عنوان تنها راه‌حل برای کاهش عدم قطعیت و اریبی یک مدل ملاحظه شده است (۲۰). در این مطالعه نیز روش مدل‌سازی اجماعی، روشی مطلوب شناخته شد.

بر اساس نتایج حاصل از اجماع مدل‌های مورد بررسی ۹ درصد (۱۴۸۶۸۰ هکتار) از مساحت استان برای گونه بادامک، دارای تناسب رویشگاهی زیاد ارزیابی شد. منحنی‌های پاسخ متغیرهای مهم مؤثر بر وقوع گونه بادامک بر اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی به عنوان نمونه نشان داد که احتمال وقوع حداکثر گونه بادامک (احتمال حضور بیش از ۰/٦ گونه) در میانگین دمای خشک‌ترین فصل ۲٤ تا ۲٦ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالیانه ٤۰۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر است. الوانی‌نژاد (۲) نیز رویشگاه‌های بادامک را اغلب در مناطق با بارندگی بین ۲۰۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر ذکر نموده است.

میانگین دمای خشک‌ترین فصل و بارندگی سالانه در حدود ۸۵ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه داشتند.

این مطالعه به مدل‌سازی پراکنش بالقوه حال حاضر و آینده گونه بادامک با استفاده از روش مدل‌سازی اجماعی پرداخت. تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه در سال ۲۰۵۰ تحت سناریو $RCP_{٤/٥}$ و $RCP_{٨/٥}$ نشان داد که وسعت رویشگاه گونه بادامک در سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد (به ترتیب ٤۳ و ۵۹ درصد) و در برخی مناطق نیز شاهد بروز مناطق مستعد وقوع گونه خواهیم بود که این مناطق از نظر اقلیمی جهت گونه مناسب خواهند شد (به ترتیب ۱۳۵ و ۱٤۰ درصد). در حال حاضر، حداقل، حداکثر و میانگین ارتفاع مناطقی که گونه در آن‌ها حضور دارد به ترتیب ۱۱٦۰، ۲۳۰۰ و ۱۷۸۰ متر است. درصورتی‌که نتایج مدل‌سازی در سال ۲۰۵۰ در مناطقی که به علت تغییر اقلیم مناسب خواهند شد این حداقل، حداکثر و میانگین ارتفاع را به ترتیب ۱٦۰۰، ۲۸۰۰ و ۲۲۵۰ متر نشان می‌دهد. همچنین میانگین دمای خشک‌ترین فصل در مناطق حضور گونه ۲۵/٤ درجه سانتی‌گراد است. درصورتی‌که در سال ۲۰۵۰، میانگین دمای خشک‌ترین فصل، در بخش‌هایی از رویشگاه که گونه را از دست می‌دهند ۲۹/٤ درجه سانتی‌گراد و در بخش‌های حضور پایدار گونه و مناطقی که به علت تغییر اقلیم جهت حضور گونه مناسب خواهند شد ۲٦/٤ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌شود. با افزایش دما در اثر تغییر اقلیم، وسعت رویشگاه بادامک در بخش‌هایی از شهرستان لردگان کاهش خواهد یافت و به سمت مناطقی که مرتفع‌تر و درنتیجه دارای دمای کمتری باشند، جابجا خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ در مناطق وسیعی از شهرستان‌های بروجن، کیار، سامان، بن و شهرکرد، شاهد بروز مناطق مستعد وقوع گونه خواهیم بود که این مناطق ازنظر اقلیمی برای گونه مناسب خواهند شد. محققان گسترش گیاهان به سمت ارتفاعات طی دوره‌های اخیر را نمونه‌ای از جابجایی گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم ذکر نمودند (٤۵). تایلر (٤۲) نیز یکی از

مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم را جابجایی محدوده جغرافیایی گونه‌های گیاهی دانست. وی بیان کرد که افزایش دما باعث حرکت گونه‌های نیمکره شمالی به سمت ارتفاعات خواهد شد. البته ازنظر وی تغییرات در اکوسیستم‌های مختلف یکسان نیست و هر اکوسیستم باید با روش‌های مناسب بررسی شود. همان‌طور که گونه‌ها به سمت قطب یا ارتفاعات می‌روند ممکن است ناپدید شوند و یا به پناهگاهی دور از بقیه محدود شوند درحالی‌که گونه‌های دیگر ممکن است دامنه پراکنش خود را گسترش دهند. زیست‌شناسان در مورد نابودی گونه‌هایی که دسترسی آن‌ها به رویشگاه مناسب محدود شود، اظهار نگرانی نموده‌اند (۳۵). فعالیت‌های صورت گرفته به ویژه پروژه‌های جنگل‌کاری در مناطق جنگلی استان چهارمحال و بختیاری نشان داد که به دلیل تخریب شدید مولفه‌های اکوسیستم جنگلی در منطقه، در حال حاضر امکان استفاده از گونه‌های درختی فراهم نیست و تجربیات اخیر حکایت از عدم استقرار یا استقرار ضعیف گونه‌های درختی دارد. در حال حاضر استفاده از گونه‌های درختچه‌ای که بتواند نقش پیشاهنگ را در عرصه‌های تخریب یافته جنگل‌های زاگرس داشته باشد، تنها راهکار موجود است. یکی از مناسب‌ترین گونه‌های موجود به منظور احیا مناطق تخریب یافته، استفاده از انواع بادام به ویژه بادامک است (۸). بهره‌برداری بدون در نظر گرفتن قابلیت‌های محیطی در عرصه‌های منابع طبیعی یکی از مشکلات کشور است که موجب از بین رفتن آب، خاک و گیاه می‌شود (۱). معرفی مناطق مستعد وقوع گونه به‌منظور کشت و احیا گونه علاوه بر بررسی اقلیمی مستلزم بررسی عوامل دیگری مانند خاک، کاربری اراضی و دسترسی جهت پراکنش بذر گونه است که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفتند. در این مطالعه مناطق مستعد اقلیمی وقوع گونه بادامک در حال حاضر و آینده در معرض نمایش قرار داده شد.

مدل‌های پراکنش گونه‌ای حاصل، ابزارهای مفید و مقرون به صرفه‌ای به منظور استفاده مدیران منابع طبیعی می‌باشند و آگاهی آن‌ها را نسبت به اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌ها افزایش می‌دهند. نقشه‌های حاصل از مدل‌ها، مناطق حساس به تغییر اقلیم و پناهگاه‌های ممکن در آینده گونه بادامک را به منظور استفاده در طرح‌های حفاظتی و مدیریت جنگلی و مرتعی این مناطق مشخص می‌نمایند. این استراتژی‌ها باید به منظور حفاظت این مناطق در برابر تهدیدها و به منظور بهبود مقاومت بادامک به تغییر اقلیم به کار روند تا حضور گونه بادامک در آینده را تضمین کنند.

منابع مورد استفاده

۱. آریاپور، ع.، م. حدیدی، ف. امیری و ع. ح. پیراوند. ۱۳۹٤. تعیین مدل شایستگی تولید علوفه در مراتع سراب سفید بروجرد با استفاده از سیستم سامانه اطلاعات جغرافیایی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ٦(۱): ٤۷-٦۰.

۲. الوانی‌نژاد، س. ۱۳۷۸. بررسی عوامل موثر بر پراکنش گونه بادام کوهی در دو منطقه مختلف استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱٤٤ صفحه.

۳. برنا، ف.، ر. تمرتاش، م. ر. طاطیان و و. غلامی. ۱۳۹۵. مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گون سفید با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی و رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: مراتع ییلاقی بلده نور). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(٤): ٤۵-٦۱.

٤. ثابتی، ح. ۱۳۵۵. جنگل‌ها و درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی. ۸۰٦ صفحه.

۵. جعفریان، ز.، ح. ارزانی، م. جعفری، ق. زاهدی و ح. آذرنیوند. ۱۳۹۱. تهیه نقشه پیش‌بینی مکانی گونه‌های گیاهی با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: مراتع رینه، کوه دماوند). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ٤٤(۱): ۱-۱۸.

٦. رحمتی، ز.، م. ترکش اصفهانی، س. پورمنافی و م. ر. وهابی. ۱۳۹٤. تعیین رویشگاه بالقوه گونه گیاهی کما (*Ferula ovina*) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در منطقه فریدونشهر اصفهان. بوم‌شناسی کاربردی، ٤(۱۱): ٤۱-۵۳.

۷. زارع چاهوکی، م. ع.، م. عباسی و ح. آذرنیوند. ۱۳۹۳. ارزیابی قابلیت مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پراکنش

مکانی گونه‌های گیاهی (مطالعه موردی: مراتع طالقان میانی). مرتع، ۸(۲): ۱۰۶-۱۱۵.

۸. سالاریان، ع.، ا. متاجی و ی. ایران‌منش. ۱۳۸۷. بررسی نیاز رویشگاهی گونه بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach) در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی رویشگاه کره‌بس، استان چهارمحال و بختیاری). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶(٤): ۵۲۸-۵٤۲.

۹. سنگونی، ح.، ح. ر. کریم‌زاده، م. ر. وهابی و م. ترکش اصفهانی. ۱۳۹۱. تعیین رویشگاه بالقوه گون سفید (*Astragalus gossypinus* Fisher) در منطقه غرب اصفهان با تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۳(۲): ۱-۱۳.

۱۰. قهرمان، ا. و ف. عطار. ۱۳۷۷. تنوع زیستی گونه‌های گیاهی ایران. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۲۱۰ صفحه.

۱۱. گلستانه، س. ر.، ف. کرمپور و ن. فرار. ۱۳۹۱. معرفی عوامل خسارتزای درختچه‌های بادام کوهی در منطقه کوه‌سیاه دشتی استان بوشهر. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران، ۱۰(۲): ۱۵۳-۱٦٤.

۱۲. مظفریان، و. ۱۳۸۳. درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات فرهنگ معاصر. ٦۷۱ صفحه.

13. Abbasi S. 2017. Persian gum: a novel natural hydrocolloid. Nutrition and Food Sciences Research, 4(1): 1-2.
14. Ardestani EG, Tarkesh M, Bassiri M, Vahabi MR. 2015. Potential habitat modeling for reintroduction of three native plant species in central Iran. Journal of Arid Land, 7(3): 381-390.
15. Bakkenes M, Alkemade J, Ihle F, Leemans R, Latour J. 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. Global Change Biology, 8(4): 390-407.
16. Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. Ecology Letters, 15(4): 365-377.
17. Cheng L, Lek S, Lek-Ang S, Li Z. 2012. Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters, 42(2): 127-136.
18. Fielding AH, Bell JF. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation, 24(1): 38-49.
19. Franklin J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press. 320 pp.
20. Grenouillet G, Buisson L, Casajus N, Lek S. 2011. Ensemble modelling of species distribution: the effects of geographical and environmental ranges. Ecography, 34(1): 9-17.
21. Hamann A, Wang T. 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. Ecology, 87(11): 2773-2786.
22. Heikkinen RK, Luoto M, Araújo MB, Virkkala R, Thuiller W, Sykes MT. 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. Progress in Physical Geography, 30(6): 751-777.
23. Hodd RL, Bourke D, Skeffington MS. 2014. Projected range contractions of European protected oceanic montane plant communities: focus on climate change impacts is essential for their future conservation. PloS one, 9(4-e95147): 1-13.
24. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014–Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects. Cambridge University Press, 650 pp.
25. Kafash A, Kaboli M, Koehler G, Yousefi M, Asadi A. 2016. Ensemble distribution modeling of the Mesopotamian spiny-tailed lizard, Saara loricata (Blanford, 1874), in Iran: an insight into the impact of climate change. Turkish Journal of Zoology, 40(2): 262-271.
26. Ladizinsky G. 1999. On the origin of almond. Genetic Resources and Crop Evolution, 46(2): 143-147.
27. Marmion M, Luoto M, Heikkinen RK, Thuiller W. 2009. The performance of state-of-the-art modelling techniques depends on geographical distribution of species. Ecological Modelling, 220(24): 3512-3520.
28. Meier ES, Lischke H, Schmatz DR, Zimmermann NE. 2012. Climate, competition and connectivity affect future migration and ranges of European trees. Global Ecology and Biogeography, 21(2): 164-178.
29. Pachauri RK, Allen MR, Barros V, Broome J, Cramer W, Christ R, Church J, Clarke L,

Dahe Q, Dasgupta P. 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, 153 pp.
30. Parmesan C, Gaines S, Gonzalez L, Kaufman DM, Kingsolver J, Townsend Peterson A, Sagarin R. 2005. Empirical perspectives on species borders: from traditional biogeography to global change. Oikos, 108(1): 58-75.
31. Pearson RG, Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? Global ecology and biogeography, 12(5): 361-371.
32. Pearson RG, Thuiller W, Araújo MB, Martinez-Meyer E, Brotons L, McClean C, Miles L, Segurado P, Dawson TP, Lees DC. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. Journal of Biogeography, 33(10): 1704-1711.
33. Périé C, de Blois S. 2016. Dominant forest tree species are potentially vulnerable to climate change over large portions of their range even at high latitudes. PeerJ, 4(e2218): 1-27.
34. 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, 153 pp.
35. Potter KM, Hargrove WW. 2013. Quantitative assessment of predicted climate change pressure on North American tree species. Mathematical and Computational Forestry & Natural Resource Sciences, 5(2): 151-169.
36. Pressey RL, Cabeza M, Watts ME, Cowling RM, Wilson KA. 2007. Conservation planning in a changing world. Trends in Ecology & Evolution, 22(11): 583-592.
37. Sangoony H, Vahabi MT, M□Soltani S. 2016. Rang shift of Bromus tomentellus BOISS. as a reaction to climate change in central Zagros, Iran. Applied Ecology and Environmental Research, 14(4): 85-100.
38. Sinclair S, White M, Newell G. 2010. How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates? Ecology and Society, 15(1): 8 [online].
39. Sutton WB, Barrett K, Moody AT, Loftin CS, deMaynadier PG, Nanjappa P. 2014. Predicted changes in climatic niche and climate refugia of conservation priority salamander species in the Northeastern United States. Forests, 6(1): 1-26.
40. Swets JA. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857): 1285-1293.
41. Thuiller W, Lafourcade B, Engler R, Araújo MB. 2009. BIOMOD–a platform for ensemble forecasting of species distributions. Ecography, 32(3): 369-373.
42. Thuiller W. 2007. Biodiversity: climate change and the ecologist. Nature, 448(7153): 550-552.
43. Thuiller W. 2014. Editorial commentary on BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. Global change biology, 20(12): 3591-3592.
44. Towsend P, Soberón J, Pearson R, Anderson R, Martínez-Meyer E, Nakamura M, Araújo M. 2011. Ecological niches and geographic distributions, Princeton University Press, Princeton, NJ. 328 pp.
45. Walther G-R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ, Fromentin J-M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature, 416(6879): 389-395.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 8/ Issue 3) autumn 2017
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros

M. Haidarian Aghakhani [1*], R. Tamartash [2], Z. Jafarian [3], M. Tarkesh Esfahani [4], M.R. Tatian [2]

1. PhD. Student of Rangeland Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2. Assis. Prof. College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3. Assoc. Prof. College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4. Assis. Prof. College of Natural Resources, Isfahan University of Technology

ARTICLE INFO

Article history:
Received 11 July 2017
Accepted 5 September 2017
Available online 11 November 2017

Keywords:
Artificial neural network
Generalized boosting method
Biomod
Chaharmahal and Bakhtiari province

ABSTRACT

Predicting the potential distribution of plants in response to climate change is essential for their conservation and management. *Amygdalus scoparia* is a wild almond species native to Iran Therefore, this study aimed at predicting the effect of climate change on the geographical distribution of *A. scoparia* in Chaharmahal and Bakhtiari province in the central Zagros region. In this regard, we used 5 modeling approaches, Generalized Linear Model (GLM), Classification Tree Analysis (CTA), Artificial Neural Network (ANN), Generalized Boosting Method (GBM) and Random Forest (RF) to determine relationships between the occurrence of species and environmental factors under the ensemble framework by using Biomod and R software. The results showed that AUC values greater than 0.9 and functioning of all models been excellent. The mean temperature of the driest quarter and Annual precipitation had the most important role for habitat suitability of this species and (85%) changes in *A. scoparia* distribution was justified. The results of the model showed that 9%, (148680 ha) of in Chaharmahal and Bakhtiari province for the *A. scoparia* have had high habitat suitability. Area of suitable habitat was calculated by ArcGIS software on current and future climate conditions. Under $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ climate scenario *A. scoparia* might lose (Respectively 43% and 59%) of its climatically suitable habitats due to climate change factors, by 2050, while in a number of areas (135% and 140%), the current unsuitable habitats may be converted to suitable. The results of this study can be used in planning, conservation and rehabilitation of *A. scoparia*.

* Corresponding author e-mail address: ma_haidarian@yahoo.com