Archive of SID

کاربرد روش مدل‌سازی اجماعی در پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.)

علی اصغر نقی‌پور برج[1*]، مریم حیدریان آقاخانی[2] و حامد سنگونی[3]

[1] ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، گروه مرتع و آبخیزداری

[2] ایران، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده منابع طبیعی، گروه مرتعداری

[3] ایران، تربت حیدریه، دانشگاه تربت حیدریه، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مرتع و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۷

چکیده

یکی از اثرات مهم تغییر اقلیم بر گیاهان، تغییر در گستره جغرافیایی آن‌هاست. پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه‌های گیاهی باارزش و در معرض خطر در پاسخ به تغییر اقلیم، امری ضروری در جهت حفاظت و مدیریت آن‌ها محسوب می‌شود. این مطالعه با هدف پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گونه لاله واژگون (*Fritillaria imperialis*) در زمان حال حاضر و همچنین آینده در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی انجام شد. دو سناریوی اقلیمی شامل RCP۴/۵ و RCP۸/۵ تحت مدل گردش عمومی HadGEM2-CC برای پیش‌بینی آینده (سال ۲۰۵۰) مورد استفاده قرار گرفت. از ۱۹ متغیر زیست اقلیمی مشتق شده از دما و بارش و سه متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) به عنوان ورودی به مدل‌ها استفاده شد. پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل شبکه عصبی مصنوعی، مدل خطی تعمیم یافته، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی، روش افزایشی تعمیم یافته و جنگل تصادفی بودند که در چارچوب پیش‌بینی توسط مدل‌سازی اجماعی و با استفاده از بسته biomod2 در نرم‌افزار R مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که به ترتیب تغییرات فصلی دما و مجموع بارندگی سالانه بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه لاله واژگون داشتند. ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل‌ها از صحت و دقت خوبی برخوردار هستند و مدل جنگل تصادفی، قابل‌اعتمادترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش گونه تعیین شد. همچنین، در مجموع رویشگاه این گونه در آینده تحت سناریو RCP۴/۵ و RCP۸/۵ به ترتیب حدود ۱۹/۷ و ۶۱ درصد کوچکتر از حال حاضر خواهد شد.

واژه های کلیدی: استان چهارمحال و بختیاری، تناسب رویشگاه، مدل گردش عمومی، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۵۲۱۰۱۰۸ ، پست الکترونیکی: aa_naghipour@yahoo.com

مقدمه

تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی طی سال‌های اخیر اثرات قابل توجهی بر اکوسیستم‌های جهان و موجودات ساکن در آن‌ها داشته است (۱۰). پیش‌بینی می‌شود تا پایان قرن بیست و یکم، دمای جهانی حدوداً بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (۱۵). یکی از اثرات مهم تغییر اقلیم بر گیاهان، تغییر در گستره جغرافیایی آن‌هاست (۱۱ و ۱۹). حدود بردباری گونه‌ها و عوامل محیطی که پراکنش گونه‌ها و گسترش جغرافیایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در اثر تغییر اقلیم دستخوش تغییر شده و درنتیجه باعث تغییرات در دامنه پراکنش و انتشار موجودات زنده می‌شود (۹). گونه‌های گیاهی به سه صورت کلی به تغییر اقلیم پاسخ می‌دهند: ۱- تغییر فیزیولوژیکی، فنولوژیکی، ژنتیکی و سایر خصوصیات برای سازگاری با شرایط جدید؛ ۲- جابجایی محل زندگی برای یافتن شرایط محیطی مناسب؛

www.SID.ir

Archive of SID

و ۳- تغییر شرایط به نحوی که منجر به انقراض گونه شود (۱۸ و ۲۱).

مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Species Distribution Models) یا SDM پرکاربردترین روش‌ها به‌منظور پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات پراکنش گونه‌های گیاهی هستند (۳۳). استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای در دو دهه گذشته به سرعت در حال افزایش بوده و ابزاری جدید جهت پیش‌بینی آشیان اکولوژیک گونه‌های گیاهی محسوب می‌شوند (۳۱). این مدل‌ها با عناوین دیگری همچون مدل‌های اقلیمی رویشگاه (Climatic Envelops) و مدل‌های میدان اکولوژیک (Ecological Niche Modeling) نیز شناخته می‌شوند (۳۸). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی باارزش و در معرض خطر، امری ضروری در جهت حفاظت، ارزیابی سطح تهدیدات و مدیریت آن‌ها محسوب می‌شود (۳۰). 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 (۲۷).

در این مطالعه با استفاده از روش مدل‌سازی اجماعی و بسته رایانه‌ای *biomod2*، اقدام به تعیین گستره جغرافیایی حال حاضر و آینده گونه لاله واژگون گردید. جنس *Fritillaria* از تیره Liliaceae بوده و مشتمل بر ۱۰۰ گونه است (۲۲). این جنس در ایران دارای حدود ۱۵ گونه می‌باشد (۴). گونه لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.) که به "اشک مریم" نیز معروف است، از گیاهان منحصر به فرد و ارزشمندی می‌باشد که هر ساله هزاران گردشگر را به مناطق رویش خود می‌کشاند. لاله واژگون از جنبه دارویی نیز از اهمیت زیادی برخوردار بوده، به طوری که وجود ترکیبات آلکالوییدی و گلیکوزیدی برای آن گزارش شده است (۳). لاله واژگون مشخصه منطقه زاگرس بوده و در مناطق معدودی از کشور به صورت وحشی می‌روید. در ایران، منطقه زاگرس دارای فون و فلور منحصر به فرد بوده و غنی‌ترین ذخایر ژنتیکی کشور را دارا می‌باشد (۳ و ۵). از طرفی بقای این گونه به دلیل چرای شدید دام، تغییر کاربری، برداشت گل و پیاز و آفات و بیماری‌ها به شدت در معرض تهدید می‌باشد (۴). بر اساس سیاست‌های سازمان حفاظت محیط زیست، لاله واژگون به عنوان ذخیره ژنتیکی و عنصر زیبایی‌شناختی محسوب می‌گردد و بنابراین حفاظت از این گونه مورد تاکید قرار گرفته است (۱).

جهت پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای، مدل‌های فراوانی موجود بوده و بنابراین انتخاب مناسب‌ترین مدل را برای کاربران مشکل نموده است (۱۲). همچنین مطالعات اخیر نشان داده‌اند که ممکن است اختلاف بین مدل‌های مختلف بسیار زیاد باشد. انتخاب مدل مناسب به ویژه زمانی که مدل‌ها به منظور پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم استفاده می‌شوند، بسیار دشوار است (۲۵). *biomod* یک بسته رایانه‌ای به منظور اجماع پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های پراکنش گونه‌ای می‌باشد که برای اولین بار چندین مدل را در اکولوژی مورد استفاده قرار داد (۳۶).

مطالعات بسیاری با استفاده از مدل‌سازی اجماعی و بسته *biomod*، به بررسی پیامدهای بالقوه تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی پرداخته‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به Hodd و همکاران (۱۴) که به بررسی ۳۰ گونه گیاهی در مناطق حفاظت شده اروپا پرداختند و Périé و Blois که ۵ گونه درختی را در کانادا و شمال غربی جنگل‌های آمریکا مورد بررسی قرار دادند، اشاره نمود (۲۶). همچنین در داخل کشور نیز Sangoony و همکاران (۳۲) اثرات تغییر اقلیم را بر پراکنش جغرافیایی و جابجایی گونه مرتعی *Bromus tomentellus* در زاگرس مرکزی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که این گونه، ۶۵ درصد از رویشگاه مناسب خود را به علت تغییر اقلیم در سال ۲۰۸۰ از دست خواهد داد، در حالی‌که ۱۳/۹ درصد از رویشگاه که در حال حاضر نامناسب است به علت تغییر

www.SID.ir

Archive of SID

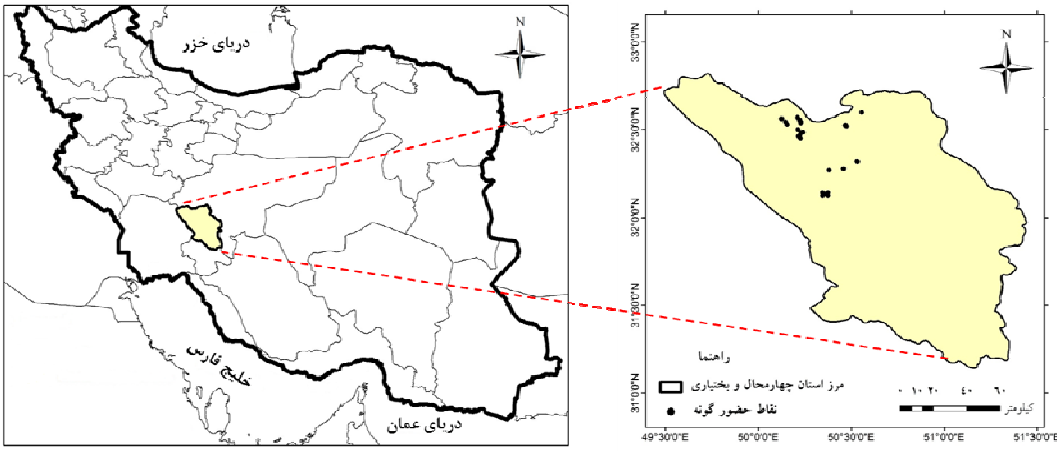
اقلیم مناسب خواهد شد. آن‌ها پیش‌بینی نمودند که رویشگاه این گونه تا ۵۱ درصد کوچکتر از حال حاضر خواهد شد.

مطالعاتی نیز در رابطه با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر توزیع جغرافیایی جنس *Fritillaria* انجام شده است. از جمله، Rana و همکاران (۳۰) اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه *Fritillaria cirrhosa* در کشور نپال، با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه ایشان چهار RCP تحت مدل گردش عمومی BCC-CSM1.1 در سال ۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین تناسب رویشگاهی بین سناریوهای مختلف اقلیمی سال ۲۰۵۰ در RCP۴/۵ رخ خواهد داد. همچنین جابجایی گونه به سمت مناطق مناسب اقلیمی در شمال غربی را پیش‌بینی نمودند.

با توجه به اهمیت موضوع، مطالعه حاضر با هدف شناسایی مهمترین عوامل اقلیمی موثر بر پراکنش گونه لاله واژگون و تعیین گستره جغرافیایی حال حاضر این گونه در استان چهارمحال و بختیاری واقع در زاگرس مرکزی انجام پذیرفت. همچنین پراکنش این گونه در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP۴/۵ و RCP۸/۵ و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC پیش‌بینی گردید. در مطالعه حاضر از ۱۹ متغیر زیست اقلیمی مشتق شده از دما و بارش و سه متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) به عنوان ورودی به مدل‌ها استفاده شد. پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل شبکه عصبی مصنوعی، مدل خطی تعمیم یافته، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی، روش افزایشی تعمیم یافته و جنگل تصادفی بودند که در چارچوب پیش‌بینی توسط مدل‌سازی اجماعی و با استفاده از بسته *biomod2* (۳۷) در نرم‌افزار R 3.3.2 (۲۹) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: این مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی و با مساحتی حدود ۱/۶۵ میلیون هکتار (حدود ۱ درصد از مساحت کشور) انجام شد. این استان بین ´۹ °۳۱ تا ´۴ °۳۲ عرض شمالی و نیز ´۲۸ °۴۹ تا ´۲۵ °۵۱ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این استان در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس قرار دارد که از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویراحمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود می‌شود (۲).



شکل ۱- موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در کشور ایران و نقاط حضور گونه لاله واژگون

از خصوصیات اصلی این منطقه، تنوع توپوگرافی و ناهمواری‌ها است به طوری که دامنه ارتفاعی منطقه بین ۷۸۳ تا ۴۱۷۸ متر متغیر است. بارش متوسط سالانه استان حدود ۵۶۰ میلی‌متر است که در مناطق مرتفع عمدتاً به

www.SID.ir

Archive of SID

صورت برف می‌باشد. بیشترین بارش در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق افتاده و دوره خشکی در فصل تابستان و حدود ۲ تا ۳ ماه می‌باشد. میانگین دمای سالانه از ۵ درجه سانتی‌گراد در بخش‌های مرکزی تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد در بخش‌های غربی متغیر بوده و میانگین دمای استان حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. پستی و بلندی به شدت بر اقلیم محلی موثر بوده و با افزایش ارتفاع، دما کاهش یافته و بارندگی افزایش می‌یابد (۱۶). این تحقیق در مناطق عمده رویش گونه گیاهی لاله واژگون در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

روش تحقیق: در پژوهش حاضر، نقاط حضور گونه بر اساس بررسی‌های مستقیم میدانی در مناطق پراکنش گونه لاله واژگون در استان چهارمحال و بختیاری تعیین شدند. از مناطق حضور گونه در سطح استان بازدید به عمل آمده و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) نقاط مدنظر ثبت گردید. در ثبت نقاط وقوع گونه، سعی گردید مناطقی به عنوان وقوع گونه در نظر گرفته شوند که گونه مورد نظر حداقل یک لکه به مساحت یک کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار دهد. همچنین نقاط نمونه‌برداری شده از یکدیگر حداقل یک کیلومتر فاصله داشته باشند. با توجه به شرایط ذکر شده، در نهایت ۳۱ نقطه حضور گونه انتخاب شد.

در این مطالعه از مدل گردش عمومی HadGEM2-CC استفاده شد که صحت پیش‌بینی آن در نیمکره شمالی تأیید شده است (۳۴). RCPs (Representative Concentration Pathways)، سناریوهای تغییر اقلیم هستند که به منظور استفاده در ورودی مدل گردش عمومی جو تدوین شده‌اند و نشان دهنده روند غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن، بخار آب، اکسیدهای ازت، متان و ازن هستند که این روندها در گزارش ارزیابی پنجم در سال ۲۰۱۴ پذیرفته شده‌اند (۲۳). در این مطالعه از دو سناریو RCP۴/۵ و RCP۸/۵ استفاده شد که به ترتیب سناریوهای متعادل و بدبینانه هستند.

مطالعه حاضر، دو دوره زمانی پایه (حال حاضر) و یک دوره زمانی آینده (سال ۲۰۵۰) را در نظر گرفت. متغیرهای دما و بارش ماهیانه و لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه به صورت ریز مقیاس شده از پایگاه اطلاعاتی Worldclim (۱۳) اخذ گردید. سپس با استفاده از داده‌های دما و بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استان (۵۰ ایستگاه)، این نقشه‌ها اصلاح شدند. در نهایت، توسط لایه‌های دما و بارندگی اصلاح شده، لایه‌های ۱۹ متغیر زیست- اقلیمی (Bioclimatic variables) در نرم‌افزار DIVA-GIS تولید شدند.از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، 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® 10.5 یکسان‌سازی گردیدند. به منظور انتخاب متغیرهای ورودی به مدل‌ها، ابتدا وجود همبستگی بین آنها توسط آزمون آماری پیرسون (Pearson) بررسی شد و لایه‌هایی با بیش از ۸۰ درصد همبستگی (همبستگی بالا)، تعیین شده و لایه‌های با درجه اهمیت کمتر برای گونه لاله واژگون حذف گردیدند (۳۰). در نهایت و پس از حذف لایه‌های دارای همبستگی بالا و غیرضروری، ۸ متغیر به عنوان ورودی مدل‌ها انتخاب گردیدند (جدول ۱).

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)، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA) از دسته روش‌های طبقه‌بندی (Classification)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، جنگل تصادفی (RF) و روش افزایشی تعمیم یافته (GBM) از دسته روش‌های یادگیری ماشین در قالب روش اجماعی مورد استفاده قرار گرفتند. تمام

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌ها، در چارچوب بسته *biomod2* (۳۷) و در برنامه R 3.3.2 (۲۹) به منظور تعیین گستره جغرافیایی حال حاضر گونه لاله واژگون و پیش‌بینی پراکنش آینده آن تحت شرایط اقلیمی جدید (تحت سناریو اقلیمی RCP۴/۵ و RCP۸/۵) و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC اجرا شدند.

جدول ۱- توصیف متغیرهای مورد استفاده برای مدل‌سازی رویشگاه گونه لاله واژگون

شماره	نمایه متغیر	توصیف متغیر	تفکیک‌پذیری
۱	Slope	درصد شیب	30 arc ~sec
۲	Aspect	جهت شیب	30 arc ~sec
۳	Bio3	شاخص هم‌دمایی ۱۰۰× (BIO_2/BIO_7)	30 arc ~sec
۴	Bio4	تغییرات فصلی دما (100 x انحراف معیار)	30 arc ~sec
۵	Bio7	دامنه سالانه دما (BIO_5-BIO_6)	30 arc ~sec
۶	Bio9	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	30 arc ~sec
۷	Bio12	مجموع بارندگی سالانه	30 arc ~sec
۸	Bio17	مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال	30 arc ~sec

برای ارزیابی نتایج مدل‌سازی از دو آماره TSS (True skill statistic) و سطح زیر منحنی ROC یا شاخص AUC استفاده شد. در صورتی که مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) کمتر از ۰/۷ باشد نشان‌دهنده توانایی ضعیف مدل در پیش‌بینی، مقادیر ۰/۹-۰/۷ نشان‌دهنده یک پیش‌بینی قابل قبول، و مقادیر بالای ۰/۹ نشان‌دهنده توانایی پیش‌بینی عالی مدل است (۱۰). آماره TSS دامنه‌ای بین ۱+ تا ۱- دارد و هر چه این مقدار به ۱+ نزدیکتر شود، نشان‌دهنده توانایی پیش‌بینی مناسب مدل و هر چه به سمت صفر و یا کمتر باشد، نشان‌دهنده دقت کمتر مدل و حالت پیش‌بینی تصادفی است. بنابراین، مقادیر TSS کمتر از ۰/۴، نشان‌دهنده توانایی ضعیف مدل در پیش‌بینی، ۰/۸-۰/۴ خوب و بالای ۰/۸، عالی می‌باشد (۳۰).

نتایج

مقادیر TSS بالاتر از ۰/۸ و مقادیر AUC بالاتر از ۰/۹ نشان دهنده پیش‌بینی عالی مدل است. بنابراین، به غیر از مدل شبکه عصبی مصنوعی (TSS=۰/۷۷)، همه مدل‌ها دارای عمکرد عالی بودند (جدول ۲). بر این اساس، در بین همه مدل‌ها، مدل جنگل تصادفی و مدل افزایشی تعمیم‌یافته بهترین پیش‌بینی را داشتند و پس از آن‌ها به ترتیب، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی، خطی تعمیم یافته و شبکه عصبی مصنوعی قرار داشتند. بنابراین به ترتیب روش‌های یادگیری ماشین، روش‌های طبقه‌بندی و روش‌های رگرسیون بهترین عملکرد را داشتند.

سهم نسبی (اهمیت) هر یک از متغیرهای وارد شده به مدل در پیش‌بینی مناطق مناسب برای حضور گونه لاله واژگون در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که به ترتیب، تغییرات فصلی دما، مجموع بارندگی سالانه ، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال، جهت شیب، شاخص هم‌دمایی، دامنه سالانه دما و مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال، بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه لاله واژگون داشتند. البته ترتیب اهمیت متغیرها در تمام مدل‌ها یکسان نبود و 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. تغییرات فصلی دما، مجموع بارندگی سالانه و میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال با همدیگر در حدود ۷۱ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه داشتند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقادیر آماری اعتبارسنجی جهت مدل‌های استفاده شده

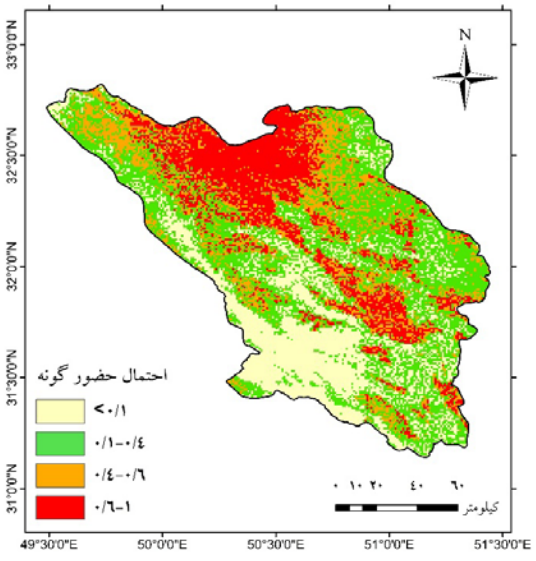
مدل	شبکه عصبی مصنوعی	تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی	افزایشی تعمیم یافته	خطی تعمیم یافته	جنگل تصادفی
مقدار AUC	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۹
مقدار TSS	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۸۱	۰/۹۶

جدول ۳- سهم نسبی هر یک از متغیرهای استفاده شده در مدل جهت پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی لاله واژگون

متغیر محیطی	شبکه عصبی مصنوعی	تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی	افزایشی تعمیم‌یافته	خطی تعمیم‌یافته	جنگل تصادفی	میانگین سهم نسبی در مدل‌ها (٪)
تغییرات فصلی دما	۰/۳۴	۵۵/۸۹	۳۷/۵۹	۶۲/۶۳	۳۲/۲۲	۳۷/۷۳
مجموع بارندگی سالانه	۴۲/۲۷	۰	۲۳/۵۵	۰	۱۸/۹۴	۱۶/۹۵
میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	۴۰/۹۰	۱۴/۹۰	۱۱/۲۷	۰	۱۵/۶۱	۱۶/۵۴
جهت شیب	۱/۴	۱۹/۸۲	۱۵/۲۹	۹/۴۹	۱۲/۶۲	۱۱/۷۴
شاخص هم‌دمایی	۰/۴۵	۹/۳۸	۱۰/۰۲	۰	۱۰/۹۶	۶/۱۷
دامنه سالانه دما	۰	۰	۰/۷۵	۲۷/۸۸	۱/۳۲	۵/۹۹
درصد شیب	۱۰	۰	۱/۵۰	۰	۴/۶۵	۳/۲۳
مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال	۴/۵۵	۰	۰	۰	۳/۶۵	۱/۶۳

نقشه‌های حاصل از مدل‌های مختلف متفاوت بودند ولی همپوشانی زیادی با هم داشتند. با استفاده از اجماع نتایج حاصل از همه مدل‌ها، یک نقشه از مناطق مناسب برای پراکنش در حال حاضر گونه لاله واژگون آماده شد. احتمال وقوع گونه لاله واژگون در حال حاضر در شمال استان نسبت به بقیه مناطق بیشتر است (شکل ۲). مساحت هر طبقه در جدول ۴ نمایش داده شده است. سطح رویشگاه مناسب این گونه (احتمال وقوع بیشتر از ۰/۶) با توجه به نقشه پیش‌بینی ۳۳۰۵/۱۷ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۲۰ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است (جدول۴). همچنین با مطالعه تغییر اقلیم، نقشه پراکنش گونه لاله واژگون تحت سناریوهای اقلیمی RCP ۴/۵ (شکل ۳، الف) و RCP ۸/۵ (شکل ۳، ب) با مدل گردش عمومی HadGEM2-CC برای سال ۲۰۵۰ تولید شد.

برای تهیه نقشه پیش‌بینی جابجایی دامنه گونه در سال ۲۰۵۰، ابتدا یک سطح بحرانی (در این مطالعه، احتمال حضور بیشتر از۰/۶) مورد استفاده قرار گرفت. صحت مدل در این سطح، براساس معیارهای ارزیابی AUC و TSS حداکثر بود. بر اساس آن، نقشه‌ها به دو طبقه مناسب و نامناسب طبقه‌بندی شدند.



شکل ۲- نقشه مطلوبیت نسبی شرایط محیطی لاله واژگون حاصل از اجماع مدل‌های مورد بررسی در شرایط حال حاضر

www.SID.ir

Archive of SID

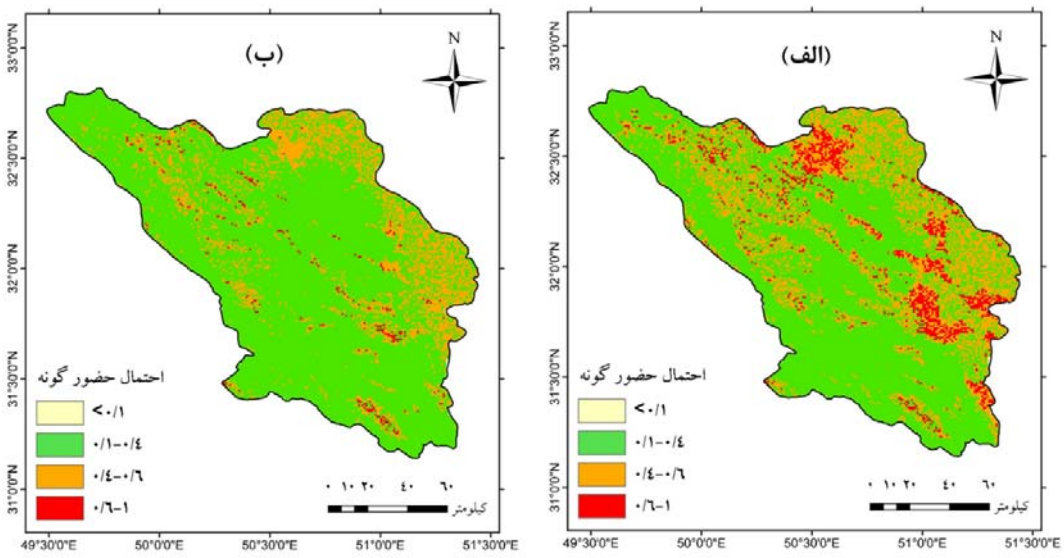
جدول ۴- مناطق پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه لاله واژگون در زمان حال حاضر و تحت دو سناریوی اقلیمی در سال ۲۰۵۰ (مناطق با احتمال کمتر از ۰/۱ به عنوان مناطق نامناسب محسوب شده و در جدول آورده نشده است)

تناسب رویشگاه	کم (۰/۴ -۰/۱)		متوسط (۰/۶ -۰/۴)		زیاد (۰/۶ <)	
	km^2	درصد	km^2	درصد	km^2	درصد
حال حاضر	۶۱۰۷/۸۱	۳۷/۳۹	۲۹۳۰/۱۹	۱۷/۹۳	۳۳۰۵/۱۷	۲۰/۲۳
RCP 4.5	۱۰۸۶۷/۶۲	۶۶/۵۲	۴۳۵۲/۰۷	۲۶/۶۳	۱۱۱۷/۲۹	۶/۸۴
RCP 8.5	۱۳۲۰۰/۴۸	۸۰/۸۰	۲۹۲۶/۷۰	۱۷/۹۱	۲۰۹/۸۰	۱/۲۸

سپس نقشه‌های حال حاضر و آینده دو به دو مقایسه شدند و جابجایی رویشگاهی گونه لاله واژگون محاسبه گردید (شکل ۴ و جدول ۵). نتایج مطالعه نشان داد که تحت سناریو RCP۴/۵، ۲۲۳۷/۳۷ کیلومتر مربع (۳۷/۳ درصد) از سطح رویشگاه مناسب گونه در سال ۲۰۵۰ از دست رفته و در مقابل، ۱۰۵۶/۶۵ کیلومتر مربع (۱۷/۶ درصد) به سطح رویشگاه مناسب جهت وقوع گونه افزوده شده است. همچنین تحت سناریو RCP۸/۵، ۴۲۱۲/۶۷ کیلومتر مربع (۷۰/۲ درصد) از سطح رویشگاه مناسب گونه کاهش یافته و ۵۵۲/۰۲ کیلومتر مربع (۹/۲ درصد) به سطح رویشگاه مناسب گونه افزوده شده است (جدول ۵). بنابراین تحت سناریو RCP۴/۵ نسبت به سناریو RCP۸/۵، سطح رویشگاه مناسب کمتری کاهش یافته و در مقابل افزایش بیشتری در سطح رویشگاه مناسب گونه پیش‌بینی گردید.

بحث

پیش‌بینی توزیع جغرافیایی حال‌حاضر و آینده گونه‌ها جهت اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی برای حفظ رویشگاه و پایداری گونه‌ها در آینده امری حیاتی است (۲۸). ارزیابی اثر سناریوهای تغییر اقلیم جهانی بر توزیع جغرافیایی گونه‌ها می‌تواند در درک عوامل تعیین کننده وسعت محدوده جغرافیایی آنها مفید واقع شود (۸). این نوع ارزیابی به دلیل ارتباطی که بین وسعت محدوده جغرافیایی گونه و خطر انقراض گونه‌ای وجود دارد، نقش مهمی در مدیریت حفاظت ایفا می‌نماید (۶).



شکل ۳- نقشه مطلوبیت نسبی شرایط محیطی لاله واژگون حاصل از اجماع مدل‌های مورد بررسی در سال ۲۰۵۰ بر اساس (الف) RCP۴/۵ و (ب) RCP۸/۵ تحت مدل گردش عمومی HadGEM2-CC.

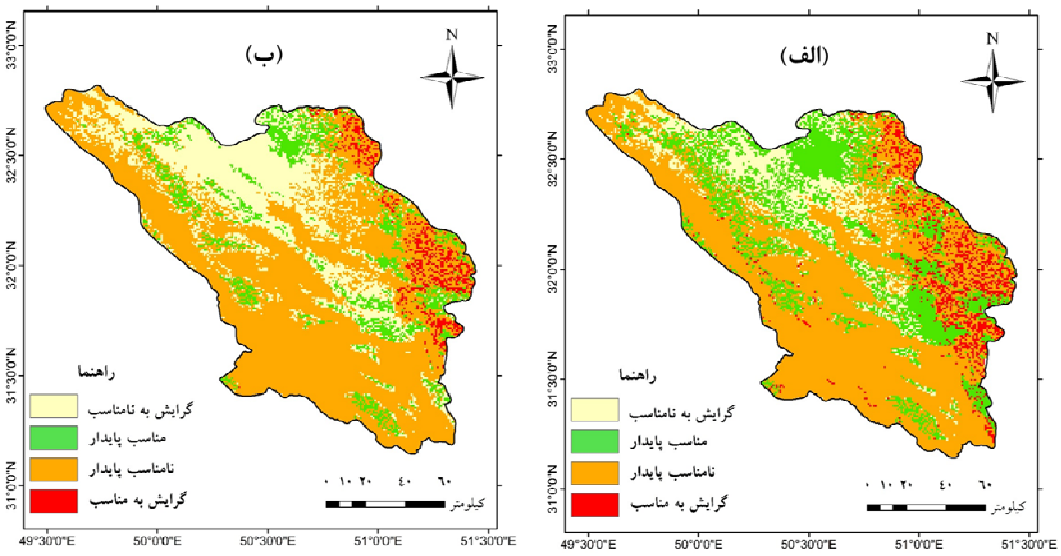
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- تغییرات سطح رویشگاه گونه لاله واژگون در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP۴/۵ ، RCP۸/۵ و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC در مقایسه با شرایط محیطی حال حاضر

سناریو	سطح حضور پایدار (km^2)	سطح غیاب پایدار (km^2)	سطح رویشگاه مناسب از دست رفته (km^2)	سطح رویشگاه مناسب از دست رفته (درصد)	سطح رویشگاه مناسب جهت وقوع گونه (km^2)	سطح رویشگاه مناسب جهت وقوع گونه (درصد)
RCP۴/۵	۳۷۵۸/۹۲	۹۲۸۴/۰۴	۲۲۳۷/۳۷	۳۷/۳	۱۰۵۶/۶۵	۱۷/۶
RCP۸/۵	۱۷۸۳/۶۲	۹۷۸۸/۶۷	۴۲۱۲/۶۷	۷۰/۲	۵۵۲/۰۲	۹/۲

به همین دلیل، مدل‌های پراکنش گونه‌ای یا SDM یکی از ابزارهای مهم و مقرون به صرفه برای تعیین آشیان اکولوژیک گونه‌ها محسوب می‌شوند (۲۰). از طرفی، الگوریتم‌های مدل‌سازی همچون مدل‌سازی اجماعی، که حاصل تجمیع چندین مدل می‌باشد، می‌تواند به عنوان یک روش کارآمد و مفید جهت پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گونه‌ها به کار گرفته شود. با استفاده از متغیرهای زیست اقلیمی، این الگوریتم‌های مدل‌سازی، شبیه‌سازی‌های موفقیت آمیزی از آشیان اکولوژیک گونه‌های مختلف تولید نموده‌اند (۱۶). انتظار می‌رود، مدل پیش‌بینی تولید شده در مطالعه حاضر، به منظور اجرای استراتژی‌های حفاظتی در آینده مفید باشد.



شکل ۴- تغییرات محدوده جغرافیایی مناسب برای گونه لاله واژگون در شرایط آب و هوایی حال حاضر در مقایسه با سال ۲۰۵۰ بر اساس (الف) RCP۴/۵ (ب) RCP۸/۵ تحت مدل گردش عمومی HadGEM2-CC

کل مدل‌های مورد مطالعه، AUC بالاتر از ۰/۹ داشتند، بنابراین همه آن‌ها دارای عمکرد عالی بودند. در بین همه مدل‌ها بر اساس شاخص‌های AUC و TSS، مدل جنگل تصادفی، افزایشی تعمیم‌یافته و تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی بهترین پیش‌بینی را داشتند و پس از آن‌ها به ترتیب، خطی تعمیم یافته و شبکه عصبی مصنوعی قرار داشتند. بنابراین، در بین مدل‌های مورد بررسی، مدل جنگل تصادفی، قابل‌اعتمادترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش گونه تعیین شد. Cheng و همکاران (۷) نیز بیان نمودند که مدل جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست. در این مطالعه نیز مدل جنگل تصادفی به‌عنوان مدلی کارآمد و روش اجماعی، روشی مطلوب شناخته شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

براساس نتایج حاصل از اجماع مدل‌های مورد بررسی ۲۰/۲ درصد (۳۳۰۵ کیلومتر مربع) از مساحت استان برای گونه لاله واژگون، دارای تناسب رویشگاهی زیاد (احتمال حضور بیش از ۰/۶ گونه) ارزیابی شد. همچنین تغییرات فصلی دما، مجموع بارندگی سالانه و میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال در حدود ۷۱ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه داشتند بنابراین دما اثر بیشتری بر پراکنش این گونه دارا است. سلطانی و همکاران (۲) نیز در مطالعه خود، دما را به عنوان مهم‌ترین عامل موثر در پراکنش رویشگاه‌های گونه‌های گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری معرفی نمودند. علت اهمیت بیشتر تغییرات فصلی دما نسبت به دیگر متغیرها، تغییرات زیاد مکانی دما در استان چهارمحال و بختیاری است که این امر می‌تواند ناشی از توپوگرافی پیچیده در این استان باشد. نتایج مطالعه Uğurlu و Oldeland (۳۹) در کشور ترکیه نیز موید این مطلب می‌باشد. همچنین Rana و همکاران (۳۰) در مورد گونه *Fritillaria cirrhosa*، از بین متغیرهای مورد بررسی، دما را به عنوان مهمترین عامل موثر معرفی نمودند.

تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه در سال ۲۰۵۰ تحت سناریو RCP۴/۵ و RCP۸/۵ نشان داد که وسعت رویشگاه گونه لاله واژگون در سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد (به ترتیب ۳۷/۳ و ۷۰/۲ 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 ۱۷/۶ و ۹/۲ درصد). بنابراین در مجموع وسعت رویشگاه این گونه در آینده در مقایسه با حال حاضر تحت سناریو RCP۴/۵، حدود ۱۹/۷ درصد و تحت سناریو RCP۸/۵، حدود ۶۱ درصد کاهش خواهد یافت. با توجه به این موضوع که در حال حاضر میانگین ارتفاع مناطقی که گونه در آن‌ها حضور دارد ۲۴۹۵ متر است. . نتایج این مطالعه با نجفی و همکاران (۳) که عنوان نمودند لاله واژگون در ارتفاع بین ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ مشاهده می‌شود، همخوانی دارد. نتایج مدل‌سازی برای سال ۲۰۵۰ بر اساس سناریو RCP۴/۵ و RCP۸/۵ در مناطقی که به علت تغییر اقلیم مناسب خواهند شد این میانگین ارتفاع به ترتیب ۲۶۲۵ و ۲۶۹۴ متر خواهد بود. بنابراین با افزایش دما در اثر تغییر اقلیم، وسعت رویشگاه لاله واژگون کاهش خواهد یافت و به سمت مناطقی که مرتفع‌تر و درنتیجه دارای دمای کمتری باشند جابجا خواهد شد. محققان بسیاری گسترش گیاهان به سمت ارتفاعات طی دوره‌های اخیر را نمونه‌ای از جابجایی گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم ذکر نمودند (۳۵ و ۴۰). البته، معرفی مناطق مناسب رویشگاهی در آینده به‌منظور کشت و احیا گونه مستلزم بررسی عوامل دیگری مانند خاک، کاربری اراضی و دسترسی جهت پراکنش بذر این گونه است که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفتند.

ثبات و پایداری رویشگاه گونه لاله واژگون در آینده میسر نخواهد بود، مگر اینکه راهبردهای حفاظتی مناسب برای این هدف به کار گرفته شود. گونه لاله واژگون در معرض خطر انقراض بوده و بنابراین جهت جلوگیری از انقراض نسل و حفظ وضعیت موجود گونه‌های گیاهی تا حد امکان باید برای آنها رویشگاه جایگزین پیدا نمود (۳). توزیع بالقوه پیش‌بینی شده برای این گونه در مطالعه حاضر، اطلاعات ارزشمندی برای شناسایی مکان‌های مناسب جهت معرفی، کشت (۲۴) و همچنین مدیریت گونه مورد نظر در آینده فراهم می‌سازد (۳۰). نقشه‌های پیش‌بینی تهیه‌شده می‌تواند به عنوان منبعی به منظور اجرای استراتژی‌های مدیریتی در نظر گرفته شود. راهکارهای حفاظتی از این گونه باید شامل کشت آن در نواحی مناسب اقلیمی (همانطور که در مدل شناسایی شده است) و نگهداری از نواحی که به عنوان مناطق مناسب پایدار معرفی شده و در حال حاضر گونه حضور دارد، باشد.

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر با استفاده از مدل‌سازی اجماعی به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم در توزیع بالقوه گونه مهم و ارزشمند لاله

www.SID.ir

Archive of SID

واژگون در دو مقیاس زمانی و مکانی پرداخت. ما ۶ متغیر زیست اقلیمی و دو متغیر فیزیوگرافی را جهت توسعه مدل نهایی به کار گرفتیم. مطالعه حاضر فضای اقلیمی این گونه را تحت زمان حال حاضر و سال ۲۰۵۰ با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمود. این کار برای شناخت پویایی زمانی و مکانی این گونه در شرایط تغییرات محیطی بسیار مهم است. نتایج این مطالعه می‌تواند به مدیران، کارشناسان و تصمیم‌گیران ذیربط جهت اتخاذ تدابیر حفاظتی مناسب و طرح‌های احیایی برای این گونه یاری رساند. این استراتژی‌ها باید به منظور حفاظت این مناطق در برابر تهدیدها و به منظور بهبود مقاومت لاله واژگون به تغییر اقلیم به کار روند تا حضور این گونه در آینده را تضمین کنند.

منابع

۱- اسلام‌زاده ن.، حسینی س.م.، مرادی ح.ر. و آذری دهکردی ف. ۱۳۸۸. معرفی رویشگاه‌های جدید برای لاله واژگون با استفاده از GIS. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۱(۱): ۲۵۱-۲۶۱.

۲- سلطانی س.، یغمایی ل.، خداقلی م. و صبوحی ر. ۱۳۸۹. پهنه بندی زیست اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۴ (۵۴): ۵۳-۶۸.

۳- نجفی م.، وهابی م.ر. و ترکش اصفهانی م. ۱۳۹۴. کاربرد روش مدل سازی رویشگاه پتانسیل در حفاظت رویشگاه لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.)، حفاظت زیست بوم گیاهان، ۳ (۷): ۱۱۳-۱۱۸.

4- Badfar-Chaleshtori S, Shiran B, Kohgard M, Mommeni H, Hafizi A, Khodambashi M, Mirakhorli N, and Sorkheh K. 2012. Assessment of genetic diversity and structure of Imperial Crown (*Fritillaria imperialis* L.) populations in the Zagros region of Iran using AFLP, ISSR and RAPD markers and implications for its conservation. Biochemical systematics and ecology, 42: 35-48.

5- Bashari H, Naghipour AA, Khajeddin SJ, Sangoony H, Tahmasebi P. 2016. Risk of fire occurrence in arid and semi-arid ecosystems of Iran: an investigation using Bayesian belief networks. Environmental monitoring and assessment, 188 (9): 531.

6- Cardillo M, Mace GM, Gittleman JL, Jones KE, Bielby J, and Purvis A. 2008. The predictability of extinction: biological and external correlates of decline in mammals. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 275(1641):1441-8.

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

8- Davies TJ, Purvis A, and Gittleman JL. 2009 Quaternary climate change and the geographic ranges of mammals. The American Naturalist, 174 (3): 297-307.

9- Elith J, and Leathwick JR. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 40: 677.

10- Franklin J. 2010. Moving beyond static species distribution models in support of conservation biogeography. Diversity and Distributions, 16: 321-330.

11- Garzón MB, de Dios RS, and Ollero HS. 2008. Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. Applied Vegetation Science, 11 (2): 169-178.

12- Heikkinen RK, Luoto M, Araújo MB, Virkkala R, Thuiller W, and Sykes MT. 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. Progress in Physical Geography, 30: 751-777 .

13- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, and Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 25(15): 1965-1978.

14- Hodd RL, Bourke D, and 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.

15- IPCC 2014. Summary for Policymakers, In: Field CB et al. (eds.), Climate Change: Impacts,

www.SID.ir

Archive of SID

Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

16- Jaafari A, Gholami DM, and Zenner E.K. 2017. A Bayesian modeling of wildfire probability in the Zagros Mountains, Iran. Ecological Informatics, 39: 32-44.

17- Kafash A, Kaboli M, Koehler G, Yousefi M, and 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: 262-271.

18- Kumar S, and Stohlgren TJ. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree Canacomyrica monticola in New Caledonia. Journal of Ecology and the Natural Environment, 1: 094-098.

19- Lawler JJ, White D, Neilson RP, and Blaustein AR. 2006. Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability. Global Change Biology, 12 (8): 1568-84.

20- Lozier JD, Aniello P, and Hickerson MJ. 2009. Predicting the distribution of Sasquatch in western North America: anything goes with ecological niche modelling. Journal of Biogeography, 36 (9): 1623-7.

21- Martínez-Meyer E, Townsend Peterson A, and Hargrove WW. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. Global Ecology and Biogeography, 13 (4): 305-14.

22- Nadeem Akhtar M, Atta-urRahman, Choudhary MI, Sener B, Erdogan I, and Tsuda Y. 2003. New class of steroidal alkaloids from *Fritillaria imperialis*. Phytochemistry, 63: 115-122.

23- Pachauri RK, Allen MR, Barros V, Broome J, Cramer W, Christ R, Church J, Clarke L, Dahe Q, and 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, 153p.

24- Pearce J, Lindenmayer D. 1998. Bioclimatic analysis to enhance reintroduction biology of the endangered helmeted honeyeater (*Lichenostomus melanops* cassidix) in southeastern Australia. Restoration Ecology, 6 (3): 238-43.

25- Pearson RG, Thuiller W, Araújo MB, Martinez-Meyer E, Brotons L, McClean C, Miles L, Segurado P, Dawson TP, and Lees DC. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. Journal of Biogeography, 33: 1704-1711.

26- Périé C, and 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.

27- Pressey RL, Cabeza M, Watts ME, Cowling RM, and Wilson KA. 2007. Conservation planning in a changing world. Trends in ecology & evolution, 22 (11): 583–592.

28- Porfirio LL, Harris RM, Lefroy EC, Hugh S, Gould SF, Lee G, Bindoff NL, and Mackey B. 2014. Improving the use of species distribution models in conservation planning and management under climate change. PLoS One, 9(11): e113749.

29- R Development Core Team. 2016. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (http://www.R-project.org)

30- Rana SK, Rana HK, Ghimire SK, Shrestha KK, and Ranjitkar S. 2017. Predicting the impact of climate change on the distribution of two threatened Himalayan medicinal plants of Liliaceae in Nepal. Journal of Mountain Science, 14 (3): 558-570

31- Ranjitkar S, Xu J, Shrestha KK, and Kindt R. 2014. Ensemble forecast of climate suitability for the trans- Himalayan Nyctaginaceae species. Ecological Modelling, 282: 18-24.

32- Sangoony H, Vahabi MR, Tarkesh M, and Soltani S. 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

33- Sinclair S, White M, and Newell G. 2010. How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates? Ecology and Society, 15 (1): 8.

34- Sutton WB, Barrett K, Moody AT, Loftin CS, deMaynadier PG, and 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.

35- Thuiller, W. 2007. Biodiversity: climate change and the ecologist. Nature, 448(7153): 550-552.

www.SID.ir

Archive of SID

36- Thuiller W. 2014. Editorial commentary on "biomod—optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change." Global change biology, 20: 3591-3592.

37- Thuiller W, Georges D, Engler R, Breiner F, Georges MD, and Thuiller CW. 2016. Package 'biomod2'. 104pp.

38- Towsend P, Soberón J, Pearson R, Anderson R, Martínez-Meyer E, Nakamura M, and Araújo M. 2011. Ecological niches and geographic distributions, Princeton University Press, Princeton, NJ. 328pp.

39- Uğurlu E, and Oldeland J. 2012. Species response curves of oak species along climatic gradients in Turkey. International journal of biometeorology, 56(1): 85-93.

40- Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ, Fromentin J-M, Hoegh-Guldberg O, and Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature, 416(6879): 389-395.

Application of ensemble modelling method in predicting the effects of climate change on the distribution of *Fritillaria imperialis* L.

Naghipour borj A.A.[1], Haidarian-Aghakhani M.[2] and Sangoony H.[3]

[1] Dept. of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran.

[2] Dept. of Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran.

[3] Dept. of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, I.R. Iran.

Abstract

One of the major impacts of climate change on plants is the change in their geographical range. Predicting the potential distribution of endangered plants in response to climate change is essential for their conservation and policy management. This study aimed at predicting the effect of climate change on the geographical distribution of *Fritillaria imperialis* in Chaharmahal & Bakhtiari province in the central Zagros region. We used RCP4.5 and RCP8.5 (two climate change scenario) and general circulation model HadGEM2-CC in order to predict the future geographic distribution of the species. In this study, we used 19 bioclimatic variables related to rainfall and temperature and three physiographical variables to create the models. In this regard, we used 5 modelling approaches, Generalized Linear Model (GLM), Classification Tree Analysis (CTA), Artificial Neural Network (ANN), Generalized Boosting Method (GBM) and Random Forest (RF) under the ensemble using biomod2 package in the free statistical software environment R 3.3.1. The results of the model showed that annual precipitation and temperature seasonality had the most important to provide habitat suitability of this species. All the models were accurate enough to predict the species distribution, among them, RF presented the most reliable model for the prediction. Under RCP4.5 and RCP8.5 climate scenario, the habitat of the species will shrink to 19.7% and 61, respectively in 2050.

Key words: Chaharmahal & Bakhtiari province, Habitat suitability, General circulation model, Species distribution modeling.

www.SID.ir