دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش بالقوه گونه بلوط بلند مازو (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) با استفاده از مدل‌سازی ترکیبی در جنگل‌های هیرکانی ایران

حمید طالشی[۱]، سید غلامعلی جلالی[۲]، سید جلیل علوی[۳]، سید محسن حسینی[۴] و بابک نعیمی[۵و۶]

۱، ۳ و ۴- دانشجوی دکتری، استادیار و استاد، دانشکده جنگلداری، منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار، دانشکده جنگلداری، منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسوول: Jalali_g@modares.ac.ir)
۵- پژوهشگر، دانشگاه ETH زوریخ، سوئیس
۶- پژوهشگر، موسسه پرنده‌شناسی ماکس پلانک، آلمان
تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۷
صفحه: ۱۰ تا ۲۱

چکیده

بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیست سال اخیر، میانگین دمای ناحیه رویشی خزری، ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. در این پژوهش برای کاهش عدم قطعیّت، رویشگاه‌های مطلوب فعلی و آینده گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از یک چارچوب تلفیقی شامل پنج روش مختلف مدل‌سازی، پراکنش گونه بلوط بلندمازو مدل‌سازی شد. برای پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم در پراکنش گونه بلوط بلندمازو از پنج مدل گردش عمومی جو تحت دو سناریوی خط سیر غلظت (RCP) استفاده شد. همچنین با استفاده از تحلیل تغییرات اندازه محدوده گونه بلوط بلندمازو، رویشگاه‌های افزایش‌یافته، کاهش‌یافته و حفظ‌شده تحت تأثیر اقلیم برای هریک از RCPها در سال ۲۰۷۰ میلادی پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۷۰ میلادی مساحت رویشگاه‌های مطلوب با قطعیّت بالا تحت سناریوی RCP 4.5 معادل ۱۶/۸۰ درصد افزایش و تحت سناریوی RCP 8.5 معادل ۲۹/۸۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین ۵۴/۱۲ درصد از رویشگاه‌های مطلوب فعلی تحت سناریوی RCP 4.5 پایدار خواهند ماند؛ درحالی‌که این مناطق تحت سناریوی RCP 8.5 به ۲۳/۸۵ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین در سال ۲۰۷۰ میلادی مساحت رویشگاه‌های مطلوب اضافه‌شده تحت سناریوی RCP 4.5 برابر با ۶۲/۶۸ درصد و مساحت این مناطق تحت سناریوی RCP 8.5 برابر با ۴۲/۳۶ درصد خواهد بود. پیشنهاد می‌شود تا تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی در رابطه با این گونه با مدنظر قرار دادن اثر تغییر اقلیم و سازگار با این تغییرات در جنگل‌های هیرکانی انجام شود. همچنین در طرح‌های جنگل‌کاری و احیا با استفاده از این گونه اثرات تغییر اقلیم بر مطلوبیّت رویشگاه‌های انتخاب‌شده مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خطوط سیر غلظت، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، مطلوبیّت رویشگاه، عدم قطعیّت

مقدمه

تأثیر انسان بر سیستم‌های اقلیمی اثبات شده است و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر به بالاترین میزان خود در تاریخ رسیده است. تغییرات اقلیمی اخیر اثرات گسترده‌ای بر بوم‌سامانه‌های طبیعی داشته است (۱). گرم شدن سامانه اقلیمی، آشکار و بدیهی است و تغییرات مشاهده شده بی‌سابقه هستند به‌طوری‌که میانگین جهانی دما در طول ۱۰۰ سال گذشته حدود ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و سرعت افزایش دما در طول ۳۵ سال اخیر نسبت به ۱۰۰۰ سال گذشته بیشتر بوده است (۱). با توجه به تغییرات جهانی اقلیم، تغییر اقلیم در ایران نیز اجتناب‌ناپذیر است. در پژوهشی بابائیان و همکاران (۲) پیش‌بینی کردند که تا سال ۲۰۴۰ میلادی، بارش در کل کشور نه درصد کاهش و متوسط دمای سالانه نیز به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. نتایج بررسی‌های اقلیمی در ناحیه هیرکانی به‌وضوح نشان می‌دهد که طی ۵۰ سال گذشته، اقلیم خزری گرم‌تر شده است (۳) و در بیست سال اخیر، میانگین دمای ناحیه رویشی خزری، ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (۴). گونه‌های جنس بلوط حدود هشت درصد حجم سرپا و ۷/۶ درصد از تعداد پایه‌های درختی را در جنگل‌های هیرکانی شامل می‌شوند (۵،۶). گونه‌های مختلفی از این جنس در جنگل‌های هیرکانی وجود دارند که دو گونه بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) و اوری (*Quercus macranthera* Fisch. & C.A.M.) مهم‌ترین آن‌ها هستند (۶،۵). گونه بلوط بلندمازو یکی از گونه‌های درختی مهم و ارزشمند در جنگل‌های هیرکانی است که از جلگه به‌همراه گونه‌های دیگر پهن‌برگ تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا به‌صورت آمیخته با ممرز دیده می‌شود. محدوده پراکنش آن در ارتفاعات به ژئومورفولوژی، اقلیم و خاک بستگی دارد و این گونه در ارتفاعات بالاتر شیب‌های گرم‌تر و نورگیرتر را ترجیح می‌دهد. گونه بلوط بلندمازو معمولاً توده‌های دواشکوبه‌ای را تشکیل می‌دهد که گونه بلوط در اشکوب بالا و گونه ممرز در اشکوب پایین قرار می‌گیرد (۶). بلوط گونه‌ای به نسبت گرمادوست است و نواحی جلگه‌ای و ارتفاعات پائین‌بند و میان‌بند را ترجیح می‌دهد و از همین رو اجتماعات جنگلی آن با گونه‌هایی مثل شمشاد و یا ممرز همراه است. هرساله اراضی وسیعی در نواحی مخروبه با گونه بلوط بلندمازو نهال‌کاری می‌شود (۷).

پراکنش و ترکیب جنگل‌ها می‌تواند تحت تأثیر اقلیم قرار گیرد (۸). تغییرات اقلیمی منجر به تغییرات در پراکنش و مرز گونه‌ها می‌شود و در آینده ممکن است باعث انقراض جمعیت‌ها و گونه‌ها، تغییرات فنولوژی (چرخه حیاتی سالیانه) و

www.SID.ir

Archive of SID

کنش‌های متقابل تغذیه‌ای، تغییرات محدوده پراکنش، مهاجرت، تنش‌های زیستی دگرگون‌شده و عدم سازگاری گونه‌ها نسبت به شرایط محلی شود (۹). جابجایی در محدوده جغرافیایی گونه‌ها، یکی از تندترین اثرات تغییر اقلیم است و تغییرات در الگوهای دما و رطوبت منجر به تغییرات در پراکنش گونه‌ها و محدودیت‌های دامنه پراکنش به‌همراه نابودی گونه‌ها در محدوده ارتفاعی و عرض جغرافیایی پایین‌تر می‌شود (۱۰).

مدل‌های پراکنش گونه‌ای[1]، اساس پیش‌بینی پراکنش گیاهان و جانوران هستند (۱۱) که در این مدل‌ها معمولاً بر اساس تعیین رابطه آماری بین متغیرهای محیطی و حضور یا غیاب گونه‌ها عمل می‌شود (۱۲). مدل‌های پراکنش گونه‌ای پیش‌بینی احتمالاتی از آشیان بوم‌شناختی واقعی برای یک گونه مشخص در یک فضای جغرافیایی برای یک دوره زمانی معین ارائه می‌کنند (۱۳). مدل‌های پراکنش گونه‌ای به‌طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌ها در گذشته، حال و آینده به‌کار می‌روند و کاربرد آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی با افزایش آگاهی از اثرات تغییر اقلیم آینده بر گونه‌ها، گسترش یافته است (۱۴).

علی‌رغم بالا بودن عدم قطعیّت میزان اثر تغییر اقلیم بر جنگل‌ها، مدیران جنگل باید درباره طرح‌های مدیریتی طولانی‌مدت تصمیم‌گیری کنند (۱۵). عدم قطعیّت‌های اقلیمی ناشی از مدل‌های گردش عمومی[2] (GCMs) و سناریوهای مختلف برای خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای[3] (RCPs) و عدم قطعیّت‌های مدلی ناشی از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی و ورودی‌ها و پارامترهای آن‌ها از مهم‌ترین عدم قطعیّت‌ها در مطالعات اثرات تغییر اقلیم هستند (۱۵،۱۶). یکی از راه‌حل‌های مناسب برای کاهش این عدم قطعیّت، استفاده از پیش‌بینی یا مدل‌های ترکیبی[4] است (۱۷) که در آن، مدل‌های پراکنش گونه‌ای متفاوت، مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای مختلف تغییر اقلیم ترکیب می‌شوند (۱۸).

مرور منابع نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های درختی در دنیا انجام شده است (۲۵،۹،۱۱،۱۸). به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای لوپز تیرادو و همکاران (۲۶) به بررسی روندها در مطلوبیّت رویشگاه‌های گونه‌های بلوط همیشه‌سبز (شامل *Quercus ilex subsp. Ilex*، *Q. ilex subsp. Ballota*، *Q. suber* و *Q. coccifera*) تحت تأثیر تغییر اقلیم در جنوب غرب اروپا پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه، مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای مختلف نتیجه گرفتند که دامنه پراکنش بلوط‌های همیشه سبز در آینده افزایش خواهد یافت. در مطالعه دیگری دایدرسکی و همکاران (۲۷) اثر تغییر اقلیم بر تغییرات محدوده پراکنش ۱۲ گونه درختی در جنگل‌های اروپا را تحت سه سناریوی تغییر اقلیم بررسی کردند. نتایج نشان داد که گونه‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نسبت به تغییر اقلیم نشان خواهند داد و گونه‌های بلوط (*Q. robur* و *Q. petraea*) جزء گونه‌هایی هستند که رویشگاه‌های مطلوب آن‌ها در آینده افزایش خواهد یافت.

با این‌وجود مطالعات زیادی درباره تأثیر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی در ایران و به‌خصوص جنگل‌های هیرکانی انجام نشده است.

در پژوهشی سادات فاطمی و همکاران (۲۸) به‌بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Juniperus excelsa* با استفاده از مدل MaxEnt پرداختند و گزارش کردند که تحت سناریوی RCP 2.6 در سال ۲۰۷۰، مساحت رویشگاه‌های دارای مطلوبیّت متوسط افزایش خواهد یافت درحالی‌که سطح رویشگاه‌های دارای مطلوبیّت خوب و خیلی خوب کاهش خواهند یافت. از طرف دیگر تحت سناریوی RCP 8.5 سطح هر سه نوع رویشگاه متوسط، خوب و خیلی‌خوب برای این گونه کاهش خواهد یافت. در مطالعه‌ای پیری صحراگرد و همکاران (۲۹) پراکنش گونه بادامک (*Amygdalus scoparia*) را در استان قم با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک، آنتروپی بیشینه و پرسپترون چند لایه بررسی کردند و نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک در برآورد دامنه پراکنش رویشگاه این گونه در مقایسه با دو روش دیگر، از دقت بیشتری برخوردار است. در پژوهشی حیدریان آقاخانی و همکاران (۳۰) در استان چهارمحال و بختیاری به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه بادامک (*Amygdalus scoparia*) در زاگرس میانی با استفاده از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، تجزیه طبقه‌بندی درختی، شبکه عصبی مصنوعی، مدل رگرسیون تقویت‌شده و جنگل تصادفی در چارچوب روش ترکیبی پرداختند. نتایج تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه در سال ۲۰۵۰ میلادی تحت سناریوهای اقلیمی RCP 4.5 و RCP 8.5 نشان داد که وسعت رویشگاه این‌گونه به‌ترتیب ۴۳ و ۵۹ درصد کاهش می‌یابد و در برخی مناطق مستعد، وقوع گونه افزایش خواهد یافت. در پژوهش دیگری حیدریان آقاخانی و همکاران (۳۱) اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در استان چهارمحال و بختیاری را با استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، شامل مدل خطی تعمیم‌یافته، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی، شبکه عصبی مصنوعی، مدل جمعی تعمیم یافته و جنگل تصادفی در چارچوب روش ترکیبی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تحت سناریوی RCP 4.5 در سال ۲۰۵۰، وسعت رویشگاه بلوط ایرانی ۳۵/۷ درصد کاهش می‌یابد و در برخی مناطق نیز شاهد بروز مناطق مستعد وقوع گونه خواهیم بود. در مطالعه‌ای ولوی و همکاران (۳۲) با استفاده از مدل‌سازی انفرادی و ترکیبی به مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر مطلوبیّت اقلیمی گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس تحت چهار سناریوی تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ میلادی پرداختند. نتایج نشان داد که گونه بلوط ایرانی در مقایسه با متغیرهای بارندگی پاسخ شدیدی به عامل دما و به‌خصوص بیشینه دما در گرم‌ترین ماه نشان خواهد داد و صرف‌نظر از نوع سناریوی تغییر اقلیم، به‌طوری کلی پیش‌بینی می‌شود این گونه دچار جابجایی ارتفاعی خواهد شد.

1- Species Distribution Models 2- General Circulation Models 3- Representative Concentration Pathways
4- Ensemble models

www.SID.ir

Archive of SID

با وجود نگرانی‌های زیاد در ارتباط با اثر تغییر اقلیم بر جنگل‌ها، این موضوع در کشور ما کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بلوط بلندمازو یکی از گونه‌های مهم و اصلی جنگل‌های هیرکانی است که از آن به فراوانی در طرح‌های جنگل‌کاری و احیای جنگل‌های مخروبه هیرکانی نیز استفاده می‌شود. علی‌رغم این موضوع، تاکنون هیچ مطالعه‌ای بر روی پراکنش جغرافیایی این گونه و رویشگاه‌های مطلوب آن در شرایط تغییر اقلیم صورت نگرفته است. در این پژوهش، رویشگاه‌های اقلیمی مناسب برای گونه بلوط بلندمازو در شرایط اقلیمی فعلی و همچنین تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده در چارچوب یک مدل ترکیبی، پیش‌بینی شد. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای کمک به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در طرح‌های حفاظتی، جنگل‌کاری و احیا در جنگل‌های هیرکانی مورداستفاده قرار گیرد و همچنین به‌عنوان راهنمایی برای انتخاب رویشگاه‌های مناسب برای جنگل‌کاری با گونه بلوط بلندمازو در شرایط تغییر اقلیم به‌کار برده شود.

موارد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش جنگل‌های هیرکانی بود که بین طول جغرافیایی '۳۱ °۴۸ تا '۱۰ °۵۶ شرقی و عرض جغرافیایی '۴۸ °۳۵ تا '۵۵ °۳۷ شمالی واقع شده است. گسترش ارتفاعی جنگل‌های هیرکانی از سطح دریا آغاز و بیشینه تا ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا ادامه دارد. میانگین بارندگی سالانه بین ۵۳۰ میلی‌متر در شرق و ۱۳۵۰ میلی‌متر در غرب است و میانگین دمای سالانه بین ۱۵ درجه سانتی‌گراد در غرب و ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد در شرق متغیر است (۵،۶).

داده‌های حضور گونه بلوط بلندمازو

داده‌های حضور و غیاب گونه بلوط بلندمازو از داده‌های آماربرداری طرح‌های جنگل‌داری جنگل‌های شمال کشور استخراج شد. برای اجتناب از اریب ناشی از نمونه‌برداری در مناطق دارای طرح جنگلداری، برای هر ۱ کیلومتر مربع تنها یک داده حضور انتخاب شد (۳۳). همچنین تعداد ۱۰۰۰ داده غیاب تکمیلی در مناطقی که فاقد هرگونه پوشش درختی بودند با استفاده از نقشه پوشش جهانی ۲۰۰۹[1] (۳۴) و بسته ecospat (۳۵) در محیط نرم‌افزار R نسخه 3.4.0 (۳۶) استخراج شد. در پایان، برای گونه بلوط بلندمازو تعداد ۶۷۷ داده حضور و ۲۹۲۶ داده غیاب به‌دست آمد.

متغیرهای محیطی

متغیرهای زیست‌اقلیمی (جدول ۱) برای شرایط اقلیمی فعلی (۲۰۰۰-۱۹۵۰) و آینده (۲۰۷۰ میلادی؛ میانگین سال‌های ۲۰۶۰ تا ۲۰۸۰ میلادی) با تفکیک فضایی یک کیلومترمربع از پایگاه داده‌های Worldclim (www.worldclim.org) به‌دست آمد (۳۷). در این مطالعه از پنج مدل گردش عمومی جو شامل BCC-CSM1-1، CCSM4، HadGEM2-ES، MIROC-ESM و MRI-CGCM3 تحت دو سناریوی انتشار دی‌اکسید کربن شامل RCP 4.5 و RCP 8.5 برای پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی استفاده شد. متغیر ارتفاع از مدل رقومی ارتفاعی[2] (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر از پایگاه داده USGS[3] به‌دست آمد و لایه‌های شیب، جهت و شاخص پرتوگیری توپوگرافیک[4] با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و بسته raster (۳۸) در محیط R تولید شدند. برای آماده‌سازی متغیر رسته‌ای رده‌بندی خاک، از نقشه منابع و استعداد خاک‌های ایـــران (موسسه تحقیقات آب و خاک ایران) استفاده شد.

هم‌خطی میان متغیرهای محیطی یک فرآیند گام به گام و تخمین عامل تورم واریانس[5] (VIF) با استفاده از بسته usdm در محیط R بررسی شد و تنها متغیرهایی وارد فرآیند مدل‌سازی شدند که دارای مقدار VIF کمتر از ۱۰ بودند (۳۹). درنهایت از نه متغیر محیطی شامل BIO3: ایزوترمالیتی یا هم‌دمایی، BIO8: میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل سال، BIO10: میانگین دما در گرم‌ترین فصل سال، BIO15: تغییرات بارندگی فصلی (ضریب تغییر)، BIO19: بارندگی در سردترین فصل سال، شیب، مقادیر جهت، شاخص پرتوگیری توپوگرافیک و رده بندی خاک جهت مدل‌سازی استفاده شد.

جدول ۱- متغیرهای زیست اقلیمی استفاده شده در پژوهش

Table 1. Bioclimatic variables used in the research

IO_1	میانگین دمای سالانه	BIO_{11}	میانگین دما در سردترین فصل سال
BIO_2	میانگین دامنه دمای روزانه	BIO_{12}	مجموع بارندگی سالانه
BIO_3	ایزوترمالیتی یا هم‌دمایی ($(BIO_7/BIO_2) \times (۱۰۰)$)	BIO_{13}	بارندگی در مرطوب‌ترین ماه سال
BIO_4	تغییرات فصلی دما (۱۰۰× انحراف معیار)	BIO_{14}	بارندگی در خشک‌ترین ماه سال
BIO_5	بیشینه دما در گرم‌ترین ماه	BIO_{15}	تغییرات بارندگی فصلی (ضریب تغییرات)
BIO_6	کمینه دما در سردترین ماه	BIO_{16}	بارندگی در مرطوب‌ترین فصل سال
BIO_7	تغییرات دمای سالانه (BIO_5-BIO_6)	BIO_{17}	بارندگی در خشک‌ترین فصل سال
BIO_8	میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل سال	BIO_{18}	بارندگی در گرم‌ترین فصل سال
BIO_9	میانگین دما در خشک‌ترین فصل سال	BIO_{19}	بارندگی در سردترین فصل سال
BIO_{10}	میانگین دما در گرم‌ترین فصل سال		

تحلیل تغییرات دما و بارندگی در جنگل‌های هیرکانی

برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات متغیرهای دما و بارندگی از لایه‌های رستری ریزمقیاس شده با تفکیک فضایی ۱ کیلومتر موجود در پایگاه داده‌های Worldclim استفاده شد (۳۷). ابتدا دما و بارندگی برای شرایط اقلیمی فعلی و آینده (آینده با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو شامل

1- GlobeCover 2009
2- Digital Elevation Model
3- U.S. Geological Survey
4- Topographic exposure
5- Variance Inflation Factor

www.SID.ir

Archive of SID

MIROC-، HadGEM2-ES، CCSM4، BCC-CSM1-1 ESM و MRI-CGCM3 تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 برای سال ۲۰۷۰ میلادی) بر اساس مرز جنگل‌های هیرکانی از لایه‌های رستری با استفاده از بسته raster در محیط نرم‌افزار R (۳۶) استخراج شد. درنهایت میانگین تغییرات متغیرهای دما و بارندگی نسبت به شرایط اقلیمی فعلی در هریک از سناریوهای تغییر اقلیم (RCP 4.5 و RCP 8.5) در سال ۲۰۷۰ میلادی محاسبه شد.

مدل‌های پراکنش گونه‌ای

در این پژوهش برای در نظر گرفتن عدم قطعیّت ناشی از مدل‌های مختلف، از پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته[1] (GLM)، مدل جمعی تعمیم‌یافته[2] (GAM)، تحلیل طبقه‌بندی درختی[3] (CTA)، مدل رگرسیون تقویت‌شده[4] (GBM) و روش جنگل‌های تصادفی[5] (RF) برای پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب و پراکنش فعلی گونه بلوط بلندمازو و همچنین ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه‌های مطلوب پراکنش آینده این گونه استفاده شد. مدل‌ها با اختصاص وزن‌های مساوی برای هر داده حضور و غیاب برازش داده شدند به‌طوری‌که مجموع وزنی داده‌های حضور معادل مجموع وزنی داده‌های غیاب باشد (۴۰). مدل‌سازی‌ها با استفاده از بسته biomod2 (۴۱) در محیط نرم افزار R (۳۶) انجام شد.

ارزیابی مدل‌ها

ارزیابی قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از پنج تکرار تقسیم‌بندی تصادفی برای هریک از پنج مدل پراکنش گونه‌ای انجام شد و در هر تقسیم تصادفی از ۷۰ درصد داده‌های حضور برای تولید مدل و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی آن استفاده شد. برای اندازه‌گیری صحت مدل‌های مختلف در پیش‌بینی پراکنش گونه بلوط بلندمازو از مقادیر سطح زیر منحنی[6] (AUC) در تحلیل ویژگی عملیاتی پذیرنده[7] (ROC) استفاده شد. از AUC برای مشخص کردن کارایی مدل استفاده می‌شود و مقادیر آن از صفر تا ۱ تغییر می‌کند. AUC با مقدار ۱ نشان‌دهنده تطبیق عالی است و AUC با مقدار ۰/۵ نشان می‌دهد که کارایی تمایز مدل به‌صورت تصادفی است. مدل با مقدار AUC بین ۰/۷ تا ۰/۵ دارای دقت پایین، بین ۰/۷ تا ۰/۸ دارای دقت متوسط، ۰/۸ تا ۰/۹ دارای خوب و ۰/۹ تا ۱ دارای دقت کامل است (۴۲). در این پژوهش مدل‌های دارای مقادیر AUC بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۷ برای پیش‌بینی ترکیبی پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت شرایط مختلف اقلیمی استفاده شد (۴۳).

مدل ترکیبی پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت شرایط مختلف اقلیمی

با استفاده از پنج مدل پراکنش گونه‌ای، نقشه‌های احتمال حضور گونه بلوط بلندمازو تحت شرایط اقلیمی مختلف (فعلی، آینده: تحت پنج مدل گردش عمومی جو و دو RCP برای سال ۲۰۷۰ میلادی) پیش‌بینی شد. در مرحله بعد نقشه‌های احتمال حضور با استفاده از دو آستانه مختلف به نقشه‌های حضوروغیاب تبدیل شدند: الف) بر اساس بیشینه‌سازی آماره مهارت درست[8] (TSS) و ب) بر اساس بیشینه‌سازی Kappa. درمجموع ۱۰۰۰ نقشه حضور و غیاب برای گونه بلوط بلندمازو تولید شد (۵ مدل پراکنش گونه‌ای× ۵ تکرار تقسیم‌بندی تصادفی داده‌ها× ۵ مدل گردش عمومی× ۲ آستانه برای تبدیل احتمال حضور به حضور و غیاب×۲ RCP× دو مقطع زمانی فعلی و ۲۰۷۰ میلادی) و تنها نقشه‌های حاصل از مدل‌های دارای AUC بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۷ وارد پیش‌بینی ترکیبی شدند (۴۲, ۴۳). در مرحله بعد با استفاده از میانگین‌گیری، نقشه‌های انفرادی حضوروغیاب گونه بلوط بلندمازو به نقشه حضوروغیاب ترکیبی این گونه تحت شرایط اقلیمی مختلف تبدیل شدند. درنهایت نقشه‌های حضوروغیاب ترکیبی گونه بلوط بلندمازو بر اساس سهم مدل‌هایی که حضوروغیاب این گونه را در هر رویشگاه پیش‌بینی می‌کند در سه گروه طبقه‌بندی شدند (۲۴): الف) رویشگاه‌هایی که کمتر از ۳۰ درصد مدل‌ها حضور گونه بلوط بلندمازو را در آن‌ها پیش‌بینی می‌کنند (=رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیّت بالا)، ب) رویشگاه‌هایی که بین ۳۰ تا ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه بلوط بلندمازو را در آن‌ها پیش‌بینی می‌کنند (=عدم قطعیّت در مطلوبیّت رویشگاه‌ها) و ج) رویشگاه‌هایی که بیشتر از ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه بلوط بلندمازو را در آن‌ها پیش‌بینی می‌کنند (رویشگاه‌های مطلوب با قطعیّت بالا).

تحلیل تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم

برای تحلیل تغییرات اندازه محدوده پراکنش[9] گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم، نقشه‌های ترکیبی حضوروغیاب به‌دست‌آمده در دو گروه طبقه‌بندی مجدد شدند (۲۴): الف) رویشگاه‌های مطلوب که در آن‌ها بیشتر از ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه بلوط بلندمازو را پیش‌بینی می‌کنند و ب) رویشگاه‌های نامطلوب که در آن‌ها کمتر از ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه بلوط بلندمازو را پیش‌بینی می‌کنند. درنهایت نقشه‌های تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه بلوط بلندمازو در این چهار گروه به‌دست آمد (۲۴): الف) رویشگاه‌های پایدار[10]: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه بلوط بلندمازو در آن‌ها حضور دارد و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز این گونه در آن‌ها حضور داشته باشد بدین معنی که این رویشگاه‌ها هم در شرایط فعلی و هم در شرایط اقلیمی آینده دارای مطلوبیّت اقلیمی برای این گونه هستند. ب) رویشگاه‌های ازدست‌رفته[11]: رویشگاه‌هایی که گونه بلوط بلندمازو در حال حاضر در آن‌ها حضور دارد ولی پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیم باعث نامطلوب شدن شرایط اقلیمی برای این گونه شود بدین معنی که این رویشگاه‌ها تنها در شرایط اقلیمی فعلی برای گونه بلوط بلندمازو مناسب هستند و شرایط اقلیمی آینده باعث نامطلوب شدن این رویشگاه‌ها خواهد شد. ج) رویشگاه‌های به‌دست‌آمده[12]: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه بلوط بلندمازو در آن‌ها حضور ندارد ولی تغییر اقلیم باعث مناسب شدن شرایط اقلیمی برای حضور این گونه می‌شود. د) رویشگاه‌های نامطلوب: رویشگاه‌هایی که هم در شرایط اقلیمی فعلی و هم در شرایط اقلیمی آینده برای

1- Generalized Linear Model
2- Generalized Additive Model
3- Classification Tree Analyses
4- Generalized boosting Model
5- Random Forests
6- Area under the Curve
7- Receiver Operating Characteristic
8- True Skill Statistic
9- Range Size Analysis
10- Persistent habitats
11- Loss habitats
12- Gained habitats

www.SID.ir

Archive of SID

گونه بلوط بلندمازو نامطلوب بوده و این گونه در آن‌ها حضور ندارد.

نتایج و بحث

تغییر اقلیم در جنگل‌های هیرکانی

تحلیل تغییرات متغیرهای زیست اقلیمی در سناریوهای مختلف در مقایسه با شرایط اقلیمی فعلی نشان داد که تا سال ۲۰۷۰ میلادی تحت هر دو سناریوی مورد استفاده، برای همه متغیرهای زیست‌اقلیمی مرتبط با دما، افزایش پیش‌بینی می‌شود و به‌طورکلی به میانگین دمای سالانه تحت سناریوی RCP 4.5 به میزان ۲/۹ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی RCP 8.5 به میزان ۴/۳ درجه سانتی‌گراد افزوده خواهد شد. همچنین نتایج نشان داد که تحت هر دو سناریوی تغییر اقلیم تا سال ۲۰۷۰ میلادی در مجموع بارندگی سالانه تغییر محسوسی رخ نخواهد داد و تغییرات بیشتر در الگوهای بارش به‌وجود خواهد آمد، به‌طوری‌که تحت سناریوی RCP 4.5 به‌طور متوسط ۱۳/۲ درصد از بارندگی در خشک‌ترین ماه سال و ۶/۲ درصد از بارندگی در خشک‌ترین فصل سال کاسته خواهد شد. همچنین تحت سناریوی RCP 8.5 پیش‌بینی می‌شود به‌طور متوسط ۱۸/۷ درصد از بارندگی در خشک‌ترین ماه سال و ۱۳/۷ درصد از بارندگی در خشک‌ترین فصل سال کاسته شود.

مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط بلندمازو

نتایج مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط بلندمازو نشان داد که روش‌های GAM، GMM و RF دارای مقادیر میانگین AUC بالاتر از ۰/۷۰ (±۰/۰۴ = انحراف معیار) برای همه تکرارها بودند درحالی‌که دو روش GLM و CTA دارای مقادیر میانگین AUC کمتر از ۰/۷۰ در پیش‌بینی پراکنش گونه بلوط بلندمازو بودند (جدول ۲). این موضوع نشان می‌دهد که روش‌های مدل‌سازی GAM، GMM و RF دارای قابلیت قابل قبولی برای پیش‌بینی پراکنش گونه بلوط بلندمازو در منطقه مورد مطالعه هستند. در این میان، روش مدل‌سازی RF با مقدار میانگین AUC معادل ۰/۷۶ (±۰/۰۱ = انحراف معیار) دارای بیشترین صحت پیش‌بینی و درنتیجه بهترین روش برای مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم است. حیدریان آقاخانی و همکاران (۳۱) در مطالعه‌ای درباره اثر تغییر اقلیم پراکنش گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های مرکزی زاگرس نیز روش مدل‌سازی RF را به‌عنوان بهترین روش معرفی کردند.

جدول ۲- صحت مدل به‌دست‌آمده از میانگین مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) در مقابل داده‌های مستقل

Table 2. Model accuracies given by mean values of area under the curve (AUC) against the independent dataset

تکرار مدل‌ها	الگوریتم‌های مدل‌سازی						
	GLM	GAM	CTA	GBM	RF	میانگین	انحراف معیار
۱	۰/۶۵۸	۰/۷۰۶	۰/۶۷۲	۰/۷۳۷	۰/۷۵۳	۰/۷۱	±۰/۰۴
۲	۰/۶۷۸	۰/۷۰۱	۰/۶۵۹	۰/۷۴۴	۰/۷۶۳	۰/۷۱	±۰/۰۴
۳	۰/۷۰۳	۰/۷۱۶	۰/۶۹۸	۰/۷۵۲	۰/۷۸۱	۰/۷۳	±۰/۰۴
۴	۰/۶۷۰	۰/۷۰۰	۰/۶۹۹	۰/۷۴۰	۰/۷۶۳	۰/۷۱	±۰/۰۴
۵	۰/۶۶۹	۰/۶۸۳	۰/۶۷۹	۰/۷۳۷	۰/۷۶۳	۰/۷۱	±۰/۰۴
میانگین	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۱	±۰/۰۴
انحراف معیار	±۰/۰۲	±۰/۰۱	±۰/۰۲	±۰/۰۱	±۰/۰۱		

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه بلوط بلندمازو در سال ۲۰۷۰ میلادی

نتایج نشان داد که در شرایط اقلیمی کنونی، مساحت رویشگاه‌های مطلوب با قطعیّت بالا برای گونه بلوط بلندمازو برابر با ۱۷۴۲۴ کیلومترمربع است درحالی‌که مساحت رویشگاه‌های دارای عدم قطعیّت در مطلوبیّت معادل ۱۲۹۲۹ کیلومترمربع است (جدول ۳ و شکل ۱). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه بلوط بلندمازو در سال ۲۰۷۰ میلادی (جدول ۳ و شکل ۲) نشان داد که مساحت رویشگاه‌های مطلوب با قطعیّت بالا در سناریوی تغییر اقلیم متوسط (RCP 4.5) به میزان ۱۶/۸۰ درصد افزایش و در سناریو بدبینانه (RCP 8.5) به میزان ۲۹/۸۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین رویشگاه‌های دارای عدم قطعیّت در مطلوبیّت تحت سناریوی RCP 4.5 معادل ۵۲/۴۳ درصد و تحت سناریوی RCP 8.5 معادل ۱۰۵/۹۶ درصد افزایش خواهد یافت.

نقشه‌های حاصل از اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه بلوط بلندمازو (شکل ۲) نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم، رویشگاه‌های مطلوب گونه بلوط بلندمازو در ارتفاع از سطح دریای بالاتری خواهند بود. این موضوع با این یافته همخوانی دارد که به‌طورکلی پیش‌بینی می‌شود که در مناطق کوهستانی گونه‌های درختی در واکنش به تغییر اقلیم به سمت ارتفاعات بالاتر گسترش پیدا کنند (۴۵). در مطالعات دیگر نیز الگوهای مشابهی برای گسترش ارتفاعی پراکنش گونه‌ها تحت تأثیر اقلیم گزارش شده است (۴۸،۳۱،۴۵) که با نتایج پژوهش حاضر نیز همخوانی دارد. حیدریان آقاخانی و همکاران (۳۱) و ولوی و همکاران (۳۲) پیش‌بینی کردند که در اثر تغییر اقلیم گونه بلوط ایرانی دچار گسترش ارتفاعی خواهد شد. در مطالعه‌ای بکیج و همکاران (۴۵) نشان دادند که پیش از گذشت ۴۰ سال از گرم شدن کره زمین، جابجایی ارتفاعی سریعی در گونه‌های درختی اکوتون جنگی واقع در ایالت ورمالت آمریکا اتفاق افتاده است. همچنین در پژوهش دیگری

www.SID.ir

Archive of SID

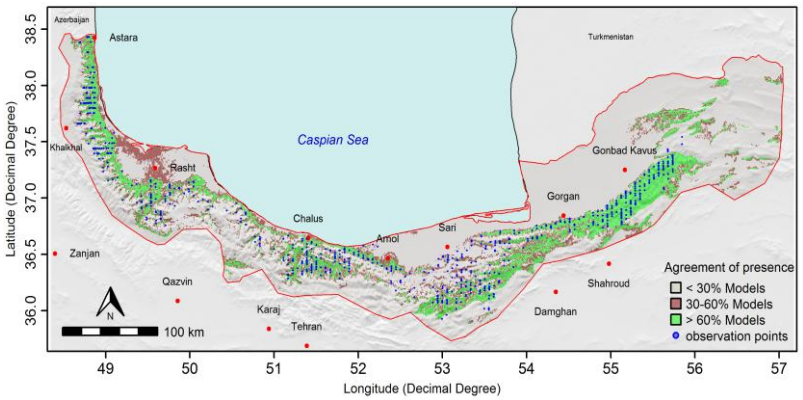
لنویر و همکاران (۴۷) نتیجه گرفتند که تغییر اقلیم در قرن ۲۰ میلادی منجر به افزایش معنی‌داری در ارتفاع از سطح دریای بهینه برای گونه‌های گیاهی در جنگل‌ها شده است که این تغییر برای گونه‌های گیاهی محدود در رویشگاه‌های کوهستانی و گونه‌های علفی بیشتر است.

جدول ۳- مساحت و تغییرات رویشگاه‌های مطلوب گونه بلوط بلندمازو در شرایط قطعیّت و عدم قطعیّت تحت تأثیر تغییر اقلیم

Table 3. Area and changes of suitable habitats of *Quercus castaneifolia* in terms of certainty and uncertainty under climate change

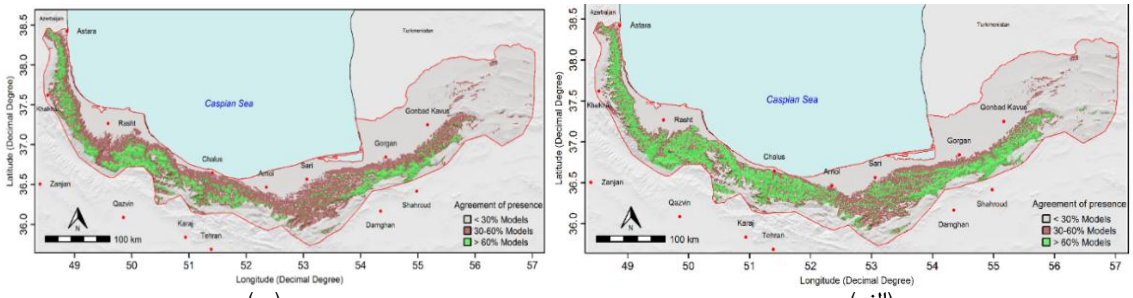
شرایط اقلیمی		رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیّت بالا	تغییرات رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیّت بالا*		رویشگاه‌های دارای عدم قطعیّت در مطلوبیّت	تغییرات رویشگاه‌های دارای عدم قطعیّت در مطلوبیّت*		رویشگاه‌های مطلوب با قطعیّت بالا	تغییرات رویشگاه‌های مطلوب با قطعیّت بالا*	
		کیلومترمربع	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	کیلومترمربع	درصد
فعلی		۷۶۵۰۶	–	–	۱۲۹۲۹	–	–	۱۷۴۲۴	–	–
سال ۲۰۷۰	RCP 4.5	۶۶۷۹۹	-۹۷۰۷	-۱۲/۶۹	۱۹۷۰۶	+۶۷۷۹	+۵۲/۴۳	۲۰۳۵۲	+۲۹۲۸	+۱۶/۸۰
	RCP 8.5	۶۷۹۹۹	-۸۵۰۷	-۱۱/۱۲	۲۶۶۲۸	+۱۳۶۹۹	+۱۰۵/۹۶	۱۲۲۲۳	-۵۱۹۲	-۲۹/۸۰

*: علامت منفی (-) نشان‌دهنده کاهش و علامت مثبت (+) نشان‌دهنده افزایش است.



شکل ۱- پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر اقلیم فعلی در جنگل‌های هیرکانی

Figure 1. Distribution of *Quercus castaneifolia* under current climate in the Hyrcanian Forests.



(ب) (b) (الف) (a)

شکل ۲- پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی در جنگل‌های هیرکانی. (الف): پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر سناریوی RCP 4.5، (ب): پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر سناریوی RCP 8.5

Figure 2. Distribution of *Quercus castaneifolia* under climate change in the Hyrcanian Forests by 2070. (a): Distribution of *Quercus castaneifolia* under RCP 4.5, (b) Distribution of *Quercus castaneifolia* under RCP 8.5

تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه بلوط بلندمازو

نتایج تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه بلوط بلندمازو (جدول ۴ و شکل ۳) نشان می‌دهد که در شرایط تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی تحت سناریوی RCP 4.5 معادل ۵۴/۱۲ درصد از رویشگاه‌های مطلوب فعلی (رویشگاه‌های مطلوب پایدار) مطلوبیّت رویشگاهی خود را حفظ خواهند کرد درصورتی‌که تحت سناریوی RCP 8.5 این مساحت رویشگاه‌های مطلوب پایدار به ۲۳/۸۵ درصد کاهش خواهد

www.SID.ir

Archive of SID

یافت. رویشگاه‌های مطلوب به‌دست‌آمده برای بلوط بلندمازو در اثر تغییر اقلیم تحت سناریوی RCP 4.5 معادل ۶۲/۶۸ درصد و تحت سناریوی RCP 8.5 معادل ۴۶/۳۶ درصد خواهند بود. درنهایت تغییرات رویشگاه‌های مطلوب تحت سناریوی RCP 4.5 مثبت و تحت سناریوی RCP 8.5 منفی پیش‌بینی می‌شود.

یافته‌های این پژوهش نشان داد در جنگل‌های هیرکانی، گونه بلوط بلندمازو نسبت به تغییرات اقلیمی متوسط (RCP 4.5) حساسیت خیلی بالایی ندارد به‌طوری‌که در سناریوی گرمایش جهانی متوسط تحت RCP 4.5 تنها کمتر از نیمی از رویشگاه‌های مطلوب فعلی (۴۵/۸۸ درصد) خود را دست خواهد داد و از طرف دیگر با توجه به مطلوب شدن شرایط اقلیمی در بخش‌های وسیعی از جنگل‌های هیرکانی معادل ۶۲/۶۸ درصد به رویشگاه‌های مطلوب آن افزوده خواهد شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اندازه دامنه پراکنش بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت. گونه بلوط بلندمازو گونه‌های نسبتاً گرما پسند است که در ارتفاعات پایین تا میانی دیده می‌شود (۷). از طرف دیگر مطابق تحلیل تغییرات متغیرهای زیست‌اقلیمی تا سال ۲۰۷۰ میلادی، در همه متغیرهای زیست‌اقلیمی مرتبط با دما افزایش پیش‌بینی می‌شود (افزایش میانگین دمای سالانه تحت سناریوی RCP 4.5 به میزان ۲/۹ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی RCP8.5 به میزان ۴/۳ درجه سانتی‌گراد). بنابراین، شرایط اقلیمی آینده احتمالاً رویشگاه‌های اقلیمی مناسب‌تری برای این گونه در مقایسه با شرایط اقلیمی فعلی مهیا خواهد کرد و به‌همین دلیل دامنه پراکنش این گونه احتمالاً افزایش خواهد یافت. در پژوهشی اینورسون و همکاران (۴۹) نیز الگوی مشابهی در افزایش دامنه پراکنش برای دو گونه بلوط *Q. stellate* و *Q. marilandica* تحت تأثیر تغییر اقلیم پیش‌بینی کردند. در مطالعه دیگری دیل و همکاران (۵۰) افزایش دامنه پراکنش گونه *Q. alba* تحت تأثیر اقلیم را با افزایش شرایط دما و خشکی مطلوب برای این گونه مرتبط می‌دانند. همچنین زولکوس و همکاران (۵۱) در مطالعه‌ای بر روی گونه‌های *Q. stellate* و *Q. falcate* نتیجه گرفتند که رویشگاه‌های مطلوب آن‌ها تحت تأثیر اقلیم افزایش خواهد یافت.

به‌طورکلی نتایج این پژوهش (شکل ۲ و شکل ۳) نشان داد که اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه بلوط بلندمازو در بخش‌های شرقی و مرکزی شدیدتر از بخش‌های غربی جنگل‌های هیرکانی خواهد بود. این دو ناحیه ازنظر رژیم‌های بارندگی کاملاً باهم تفاوت دارند و در جنگل‌های هیرکانی از غرب به شرق، میانگین دمای سالانه افزایش و میانگین بارندگی سالانه کاهش می‌یابد (۶). این موضوع باعث می‌شود که رویشگاه‌های بلوط بلندمازو در مناطق مرکزی و شرقی جنگل‌های هیرکانی (به‌ویژه در استان‌های مازندران و گلستان) شکننده‌تر باشند و تغییر اقلیم اثرات منفی شدیدتری بر رویشگاه‌های بلوط بلندمازو در این نواحی داشته باشد.

گونه بلوط بلندمازو یکی از گونه‌های مهم برای احیا و جنگل‌کاری در جنگل‌های هیرکانی است (۶). پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب این گونه تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان می‌دهد که رویشگاه‌های اقلیمی مطلوب برای این گونه تحت سناریوی RCP 4.5 به‌میزان ۱۶/۸۰ درصد افزایش خواهد یافت درحالی‌که که تحت سناریوی RCP 8.5 تنها به میزان ۲۹/۸۰ درصد کاهش خواهد یافت. از آنجایی‌که سناریوی RCP 8.5 بدبینانه‌ترین سناریوی تغییر اقلیم است به نظر می‌رسد که با توجه به شدت تغییرات اقلیمی تحت این سناریو، این میزان کاهش در رویشگاه‌های مطلوب گونه بلوط بلندمازو می‌تواند قابل‌قبول باشد. با توجه به این موارد گونه بلوط بلندمازو را می‌توان به‌عنوان یک گونه مناسب برای جنگل‌کاری و احیا جنگل‌های هیرکانی تحت تأثیر اقلیم (به‌ویژه تحت سناریوی تغییرت اقلیم متوسط) پیشنهاد داد. البته توجه به این نکته ضروری است که پژوهش حاضر، یک مطالعه بوم‌شناختی در سطح وسیع (کلان بوم‌شناختی) است و تنها نشان‌دهنده رویشگاه‌های اقلیمی مناسب در شرایط تغییر اقلیم است و برای جنگل‌کاری با گونه بلوط بلندمازو در سطوح کوچک و در هر منطقه باید موارد دیگری ازجمله خاک، رقابت، رویش و بیماری‌ها و آفات مدنظر قرار گیرند.

با توجه به نقشه‌های حاصل از تحلیل اندازه دامنه گونه بلوط بلندمازو می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در سناریو تغییر اقلیم متوسط (RCP 4.5) در ارتفاعات پایین‌بند جنگل‌های هیرکانی، همه رویشگاه‌های مطلوب با قطعیّت بالا به رویشگاه‌های دارای عدم قطعیّت در مطلوبیّت و رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیّت بالا تبدیل خواهند شد. همچنین این موضوع در ارتفاعات بالای جنگل‌های هیرکانی در استان مازندران نیز صادق است. از طرف دیگر اثرات تغییر اقلیم تحت سناریوی RCP 4.5 بر از بین رفتن رویشگاه‌های مطلوب برای گونه بلوط بلندمازو در مرکز و غرب مازندران، گیلان و آستارا نسبت به شرق مازندران و کل گلستان خفیف‌تر است. از طرف دیگر مساحت رویشگاه‌هایی که تحت تأثیر تغییر اقلیم به رویشگاه‌های مطلوب بلوط بلندمازو اضافه خواهند شد قابل‌توجه است. بیشترین مساحت اضافه‌شده به رویشگاه‌های مطلوب برای مرکز و شرق استان مازندران و شرق و مرکز استان گیلان پیش‌بینی می‌شود. کمترین مساحت اضافه‌شده به رویشگاه‌های مطلوب در مرکز و شرق استان گلستان دیده می‌شود. در اثر تغییر اقلیم تحت سناریوی RCP 8.5 بخش عمده‌ای از رویشگاه‌های مطلوب استان گلستان مطلوبیّت اقلیمی خود را از دست خواهند داد. تحت این سناریو رویشگاه‌های مطلوب تنها در بخش‌های کوچکی در ارتفاعات میانی تا بالای مرکز گلستان و مازندران و بخش‌هایی از ارتفاعات میانی مرکز و غرب گیلان و وجود خواهند داشت. تحت سناریوی RCP 8.5 قسمت عمده رویشگاه‌های مطلوب اضافه‌شده در غرب مازندران و مرکز گیلان و ارتفاعات غرب گیلان پیش‌بینی می‌شوند درحالی‌که در استان گلستان رویشگاه‌های مطلوب اضافه‌شده تنها در بخش از ارتفاعات دیده می‌شوند.

www.SID.ir

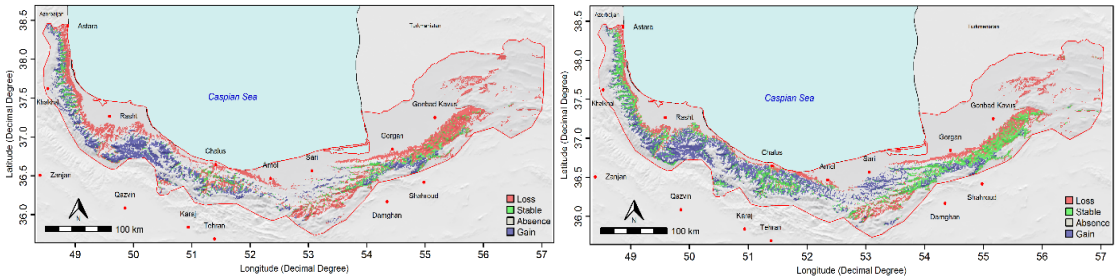
Archive of SID

جدول ۴- نتایج تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم

Table 4. Analysis of the range size changes of *Quercus castaneifolia* under climate change

شرایط اقلیمی÷		مجموع رویشگاه‌های مطلوب	رویشگاه‌های مطلوب پایدار		رویشگاه‌های مطلوب ازدست‌رفته		رویشگاه‌های مطلوب به‌دست‌آمده		تغییرات رویشگاه‌های مطلوب	
		کیلومترمربع	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد
فعلی		۱۷۴۲۴	–	–	–	–	–	–	–	–
سال ۲۰۷۰	RCP 4.5	۲۰۳۵۲	۹۴۳۰	۵۴/۱۲	۷۹۹۴	۴۵/۸۸	۱۰۹۲۲	۶۲/۶۸	+۲۹۲۸	+۱۶/۸۰
	RCP 8.5	۱۲۲۳۲	۴۱۵۵	۲۳/۸۵	۱۳۲۶۹	۷۶/۱۵	۸۰۷۷	۴۶/۳۶	−۵۱۹۲	−۲۹/۸۰

*: علامت منفی (−) نشان‌دهنده کاهش و علامت مثبت (+) نشان‌دهنده افزایش است.



(ب) (الف)

(a) (b)

شکل ۳- تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی در جنگل‌های هیرکانی. (الف): تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر سناریوی RCP 4.5، (ب): تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه بلوط بلندمازو تحت تأثیر سناریوی RCP 8.5

Figure 3. Range size changes of *Quercus castaneifolia* under climate change in the Hyrcanian Forests by 2070. (a): Range size changes of *Quercus castaneifolia* under RCP 4.5, (b): Range size changes of *Quercus castaneifolia* under RCP 8.5

جنگل‌های هیرکانی طیف وسیعی از خدمات را به محیط‌زیست و جوامع محلی ارائه می‌کنند و نقش حیاتی در نگهداری از خاک و تصفیه آب دارند. تغییر اقلیم به خاطر اثرات مستقیم بر روی کارکردها و خدمات جنگل و همچنین فاصله طولانی بین تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و تبعات آن‌ها یکی از چالش‌های اساسی پیش روی مدیران جنگل است (۵۲). با توجه به این موضوع، مدیران جنگل با عدم قطعیّت بالایی مواجه خواهند بود، چراکه به‌طورکلی شرایط رویشگاهی برای آینده ثابت در نظر گرفته می‌شود درحالی‌که پارامترهای اقلیمی نظیر دما، بارندگی و آب در دسترس گیاهان تحت تأثیر اقلیم تغییر خواهند کرد (۵۳) و به‌تبع آن، درختان به تغییرات محیطی ازجمله شرایط اقلیمی واکنش نشان می‌دهند (۵۴ و ۵۵). یافته‌های این پژوهش پیش‌بینی می‌کند که رویشگاه‌های مطلوب اقلیمی برای گونه بلوط بلندمازو در جنگل‌های هیرکانی تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت و انتظار می‌رود جابجایی مرزهای پراکنش گونه بلوط بلندمازو هم در جهت شرقی-غربی و هم در گرادیان ارتفاعی باشد.

اثرات تغییر اقلیم بر اندازه دامنه پراکنش گونه بلوط بلندمازو خیلی شدید نیست (به‌خصوص تحت سناریوی RCP 4.5) و حتی تغییر اقلیم می‌تواند رویشگاه مطلوب جدیدتری برای این گونه به وجود آورد. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، گونه بلوط بلندمازو می‌تواند یکی از گزینه‌های جنگل‌کاری در شرایط تغییر اقلیم در جنگل‌های هیرکانی باشد ولی توجه به این نکته ضروری است که برای پیشنهاد جنگل‌کاری با این گونه در هر منطقه باید مطالعات دقیق‌تر و ریزمقیاس تری درباره سایر موضوعات ازجمله خاکشناسی، تنوع زیستی، رقابت بین‌گونه‌ای، رویش، بذر دهی و آفات و بیمارها انجام شود. با توجه به این موارد نیاز است تا تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی در رابطه با این گونه با مدنظر قرار دادن اثر تغییر اقلیم و سازگار با این تغییرات در جنگل‌های هیرکانی گرفته شود. همچنین در طرح‌های جنگل‌کاری و احیا با استفاده از این گونه، اثرات تغییر اقلیم بر مطلوبیّت رویشگاه‌های انتخاب‌شده مدنظر قرار گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. IPCC. 2013. Climate Change 2013: The physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press, 1535 pp.
2. Babaeian, I., Z. Najafinik, F. Zabol Abbasi, M. Habibi Nokhandan, H. Adab and S. Malbousi. 2010. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G Model. Geography and Development, 7: 135-152 (In Persian).
3. Jafari, M. 2008. Investigation and analysis of climate change factors in Caspian Zone forests for last fifty years. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16, 314-326 (In Persian).
4. Attarod, P., F. Kheirkhah, S. Khalighi Sigaroodi, S.M.M. Sadeghi, A. Dolatshahi and V. Bayramzadeh. 2017. Trend analysis of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the Caspian region. Iranian Journal of Forest, 9: 171-185 (In Persian).
5. Marvi Mohadjer, M. R. 2012. Silviculture, University of Tehran, 417 pp (In Persian).
6. Sagheb-Talebi, K., T. Sajedi and M. Pourhashemi. 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future, Springer Berlin, 152 pp.
7. Gorgi Bahri, Y., R. Faraji Poul and S. Kiadaliri. 2013. Study on growth and silvicultural analysis of young stand of Quercus castaneifolia CAM in Neyrang Forest, Nowshahr. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21: 387-395 (In Persian).
8. Wang, H., X. Shao, Y. Jiang, X. Fang and S. Wu. 2013. The impacts of climate change on the radial growth of Pinus koraiensis along elevations of Changbai Mountain in northeastern China. Forest Ecology and Management, 289: 333-340.
9. Koralewski, T. E., H.H. Wang, W.E. Grant and T.D. Byram. 2015. Plants on the move: Assisted migration of forest trees in the face of climate change. Forest Ecology and Management, 344: 30-37.
10. Zomer, R.J., J. Xu, M. Wang, A. Trabucco and Z. Li. 2015. Projected impact of climate change on the effectiveness of the existing protected area network for biodiversity conservation within Yunnan Province, China. Biological Conservation, 184: 335-345.
11. Remya, K., A. Ramachandran and S. Jayakumar. 2015. Predicting the current and future suitable habitat distribution of Myristica dactyloides Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. Ecological Engineering, 82: 184-188.
12. Guillera-Arroita, G., J.J. Lahoz-Monfort, J. Elith, A. Gordon, H. Kujala, P.E. Lentini, M.A. McCarthy, R. Tingley and B.A. Wintle. 2015. Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications. Global Ecology and Biogeography, 24: 276-292.
13. Guisan, A., W. Thuiller and N.E. Zimmermann. 2017. Habitat Suitability and Distribution Models: with Applications in R. Cambridge University Press.
14. Hof, A.R., R. Jansson and C. Nilsson. 2012. The usefulness of elevation as a predictor variable in species distribution modelling. Ecological Modelling, 246: 86-90.
15. Lindner, M., J.B. Fitzgerald, N.E. Zimmermann, C. Reyer, S. Delzon, E. van der Maaten, M.J. Schelhaas, P. Lasch, J. Eggers and M. van der Maaten-Theunissen. 2014. Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? Journal of environmental management, 146: 69-83.
16. Pacifici, M., W.B. Foden, P. Visconti, J.E. Watson, S.H. Butchart, K.M. Kovacs, B.R. Scheffers, D. G. Hole, T. G. Martin and H. R. Akcakaya. 2015. Assessing species vulnerability to climate change. Nature Climate Change, 5: 215.
17. Araújo, M.B. and, M. New. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. Trends in ecology & evolution, 22: 42-47.
18. Vieilledent, G., C. Cornu, A.C. Sanchez, J.M.L. Pock-Tsy and P. Danthu. 2013. Vulnerability of baobab species to climate change and effectiveness of the protected area network in Madagascar: Towards new conservation priorities. Biological conservation, 166: 11-22.
19. Iverson, L.R. and A.M. Prasad. 2002. Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern US. Forest Ecology and Management, 155: 205-222.
20. Trisurat, Y., R.P. Shrestha and R. Kjelgren. 2011. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand. Applied Geography, 31: 1106-1114.
21. Benito Garzón, M., R. Sánchez de Dios and H. Sainz Ollero. 2008. Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. Applied Vegetation Science, 11: 169-178.
22. Leng, W., H.S. He, R. Bu, L. Dai, Y. Hu and X. Wang. 2008. Predicting the distributions of suitable habitat for three larch species under climate warming in Northeastern China. Forest Ecology and Management, 254: 420-428.
23. Xu, Z., C. Zhao and Z. Feng. 2009. A study of the impact of climate change on the potential distribution of Qinghai spruce (Picea crassifolia) in Qilian Mountains. Acta Ecologica Sinica, 29: 278-285.
24. Chala, D., C. Brochmann, A. Psomas, D. Ehrich, A. Gizaw, C.A. Masao, V. Bakkestuen and N.E. Zimmermann. 2016. Good-bye to tropical alpine plant giants under warmer climates? Loss of range and genetic diversity in Lobelia rhynchopetalum. Ecology and evolution, 6: 8931-8941.

www.SID.ir

Archive of SID

25. Wang, T., G. Wang, J. Innes, C. Nitschke and H. Kang. 2016. Climatic niche models and their consensus projections for future climates for four major forest tree species in the Asia-Pacific region. Forest Ecology and Management, 360: 357-366.
26. López-Tirado, J., F. Vessella, B. Schirone and P.J. Hidalgo. 2018. Trends in evergreen oak suitability from assembled species distribution models: assessing climate change in south-western Europe. New Forest, 49(4): 471-487.
27. Dyderski, M.K., S. Paź, L.E. Frelich and A.M. Jagodziński. 2018. How much does climate change threaten European forest tree species distributions?. Global change biology, 24(3): 1150-1163.
28. Sadat Fatemi Azarkhavarani, S., M. Rahimi, M. Tarkesh and H. Ravanbakhsh. 2017. Prediction of Juniperus excelsa M. Bieb. geographical distribution using by climate data under the conditions of current and future in Semnan Province. Iranian Journal of Forest, 9: 233-248 (In Persian).
29. Piri Sahragard, H., M. Zare Chahouki, M. Ajorlo and M. Nohtani. 2017. Predictive habitat distribution modeling of Amygdalus scoparia Spach in Moshakieh rangelands of Qom Province. Journal of Forests and Wood Products, 69: 725-734 (In Persian).
30. Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani and M. Tatian. 2017. 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: 1-14 (In Persian).
31. Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani and M. Tatian. 2017. Predicting the impacts of climate change on Persian oak (Quercus brantii) using Species Distribution Modelling in Central Zagros for conservation planning. Journal of Environmental Sciences, 43: 497-511 (In Persian).
32. Valavi, R., H. Shafizadeh-Moghadam, A. Matkan, A. Shakiba, B. Mirbagheri and S.H. Kia. 2018. Modelling climate change effects on Zagros forests in Iran using individual and ensemble forecasting approaches. Theoretical and Applied Climatology, 1-11.
33. Zhang, M.G., Z.K. Zhou, W.Y. Chen, J.F. Slik, C.H. Cannon and N. Raes. 2012. Using species distribution modeling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. Biological Conservation, 153: 257-264.
34. Arino, O., J.J. Ramos Perez, V. Kalogirou, S. Bontemps, P. Defourny and E. Van Bogaert. 2012. Global land cover map for 2009 (GlobCover 2009). ESA \& UCL.
35. Di Cola, V., O. Broennimann, B. Petitpierre, F.T. Breiner, M. D'Amen, C. Randin, R. Engler, J. Pottier, D. Pio and A. Dubuis. 2017. Ecospat: An R package to support spatial analyses and modeling of species niches and distributions. Ecography, 40: 774-787.
36. R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.
37. Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 25: 1965-1978.
38. Hijmans, R., J. van Etten, J. Cheng, M. Mattiuzzi, M. Sumner and J. Greenberg. 2017. Raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 2.3-33, 2016..
39. Naimi, B., N.A. Hamm, T.A. Groen, A.K. Skidmore and A. G Toxopeus. 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? Ecography, 37:191-203.
40. Barbet-Massin, M., F. Jiguet, C.H. Albert and W. Thuiller. 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? Methods in Ecology and Evolution, 3: 327-338.
41. Thuiller, W., D. Georges and R. Engler. 2014. biomod2: Ensemble platform for species distribution modeling. R package version 3.1-64. Availablt at: http://CRAN. R-project.org/package= biomod2 (accessed February 2015).
42. Franklin, J. Mapping species distributions: spatial inference and prediction, Cambridge University Press, 2010, 320 pp.
43. Shirley, S., Z. Yang, R. Hutchinson, J. Alexander, K. McGarigal and M. Betts. 2013. Species distribution modelling for the people: unclassified landsat TM imagery predicts bird occurrence at fine resolutions. Diversity and Distributions, 19: 855-866.
44. Lin, W.C., Y.P. Lin, W.Y. Lien, Y.C. Wang, C.T. Lin, C.R. Chiou, J. Anthony and N.D. Crossman. 2014. Expansion of Protected Areas under Climate Change: An Example of Mountainous Tree Species in Taiwan. Forests, 5: 2882-2904.
45. Beckage, B., B. Osborne, D.G. Gavin, C. Pucko, T. Siccama and T. Perkins. 2008. A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the Green Mountains of Vermont. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105: 4197-4202.
46. Cheaib, A., V. Badeau, J. Boe, I. Chuine, C. Delire, E. Dufrêne, C. François, E.S. Gritti, M. Legay and C. Pagé. 2012. Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. Ecology letters, 15: 533-544.
47. Lenoir, J., J.C. Gégout, P. Marquet, P. De Ruffray and H.A. Brisse. 2008. Significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. Science, 320: 1768-1771.

www.SID.ir

Archive of SID

48. Nogués-Bravo, D., M.B. Araújo, M. Errea and J. Martinez-Rica. 2007. Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. Global Environmental Change, 17: 420-428.
49. Iverson, L.R., A.M. Prasad, S.N. Matthews and M. Peters. 2008. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios. Forest Ecology and Management, 254: 390-406.
50. Dale, V.H., M.L. Tharp, K.O. Lannom and D.G. Hodges. 2010. Modeling transient response of forests to climate change. Science of the Total Environment, 408: 1888-1901.
51. Zolkos, S.G., P. Jantz, T. Cormier, L.R. Iverson, D.W. McKenney and S.J. Goetz. 2015. Projected Tree Species Redistribution Under Climate Change: Implications for Ecosystem Vulnerability Across Protected Areas in the Eastern United States. Ecosystems, 18: 202-220.
52. Yousefpour, R., C. Temperli, J.B. Jacobsen, B.J. Thorsen, H. Meilby, M. Lexer, M. Lindner, H. Bugmann, J. Borges and J. Palma. 2017. A framework for modeling adaptive forest management and decision making under climate change. Ecology and Society, 22(4): 40.
53. Brang, P., P. Spathelf, J.B. Larsen, J. Bauhus, A. Bončina, C. Chauvin, L. Drössler, C. García-Güemes, C. Heiri and G. Kerr. 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. Forestry: An International Journal of Forest Research, 87: 492-503.
54. Maroufi Aghdam, B., J. Torkaman, M. Ghodskhah, S. Karamzadeh and M. Ahmadi. 2015. Comparison between the Effects of Temperature and Solar Radiation on Growth of Quercus castaneifolia C. A. Mey. in Astara Forests using the DendrochronologyMethod, Ecology of Iranian Forests, 3(5): 1-15 (In Persian).
55. Ostakh, E., J. Soosani, B. Pilehvar, L. Poursartip and S. Musavi. 2014. Investigation on Climate Variables (Temperature and Precipitation) Effects onAnnual Width Rings of Pinus brutia in Lorestan Province Esmat, Javad, Babak, Ladan and Samaneh Musavi5, Ecology of Iranian Forest, 2(4): 19-27.

www.SID.ir

Archive of SID

Projection of Climate Change Impacts on Potential Distribution of Chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) Using Ensemble Modeling in the Hyrcanian Forests of Iran

Hamid Taleshi[1], Seyed Gholamali Jalali[2], Seyed Jalil Alavi[3], Seyed Mohsen Hosseini[4] and Babak Naimi[5, 6]

1, 3 and 4- Ph.D Student, Assistant Professor and Professor, Department of Forestry, Natural Resources and Marin Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
2- Associate Professor, Department of Forestry, Natural Resources and Marin Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran (Corresponding author: jalali_g@modares.ac.ir)
5 and 6- Assistant Professor, ETH Zurich university, Ecosystem Management, Department of Environmental Systems Science, ETH Zurich, 8092 Zurich, Switzerland
Received: December 25, 2018 Accepted: January 7, 2019

Abstract

The studies show that the mean temperature of the Hyrcanian region has been increased by 0.74 siliceous degrees in the twenty recent years. In this research, the current and future distribution of Chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) was studied using an ensemble method including five different species distribution models. We used five general circulation models under two reprehensive concentration pathway (RCPs) to project the impact of climate change on the distribution of Chestnut-leaved oak by 2070. Also, the stable, gained and lost suitable habitat of Chestnut-leaved oak were determined using range size change analyses under climate change. The results showed that the area of suitable habitats with high certainty would be increased by 16.80%, while it would be decreased by 29.80% under RCP 8.5 by 2070. The results of the range size analyses of oriental beech showed 54.12% of suitable habitat would be stable under RCP 4.5 while it would be decreased by 23.85% under RCP 8.5 by 2070. Also, the gained suitable habitats would be 62.68% and 42.36% under RCP 4.5 and RCP 8.5, respectively. It is suggested that the climate change impacts should be considered in the management decisions and conservation plans related to the Chestnut-leaved oak in the Hyrcanian forests. Further, the suitability of habitats under climate change should be accounted for plantation and reforestation by Chestnut-leaved oak.

Keywords: Habitats suitability, Reprehensive concentration pathway, Species distribution models, Ncertainty

www.SID.ir