



اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی بالقوه گونه راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های هیرکانی ایران

حمید طالشی^۱، سید غلامعلی جلالی^۲، سید جلیل علوی^{۳*}، سید محسن حسینی^۴ و بابک نعیمی^{۵ و ۶}

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
^۲ دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
^۳ استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
^۴ استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
^۵ پژوهشگر، گروه علوم سیستم‌های محیطی، دانشگاه ETH زوریخ، سوئیس
^۶ پژوهشگر، گروه مهاجرت و ایمنواکولوژی، مؤسسه پرندشناسی ماکس پلانک، رادولفلز، آلمان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸)

چکیده

نتایج بررسی‌های اقلیمی نشان می‌دهد که طی ۵۰ سال گذشته، اقلیم هیرکانی گرم‌تر شده است. در این پژوهش پراکنش فعلی و آینده گونه راش تحت تأثیر اقلیم با استفاده از یک دیدگاه تلفیقی شامل پنج روش مختلف مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای بررسی شد. برای پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی از پنج مدل گردش عمومی جو تحت چهار سناریوی خط سیر غلظت (RCPs) استفاده شد. همچنین با تحلیل تغییرات اندازه محدوده گونه راش، رویشگاه‌های افزایش یافته، کاهش یافته و حفظ شده تحت تأثیر اقلیم برای هر یک از سناریوهای تغییر اقلیم برای سال ۲۰۷۰ میلادی مشخص شدند. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۷۰ میلادی تحت تأثیر تغییر اقلیم، مساحت رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد در خوش‌بینانه‌ترین سناریو (RCP 2.6) معادل ۷۲/۷۹ درصد و در بدبینانه‌ترین سناریو (RCP 8.5) معادل ۸۹/۸۵ درصد کاهش خواهد داشت. نتایج تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه راش نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم در خوش‌بینانه‌ترین حالت (RCP 2.6) تنها ۲۴/۸۰ درصد رویشگاه‌های مطلوب فعلی پایدار خواهند ماند که این میزان در بدبینانه‌ترین حالت (RCP 8.5) با کاهش شدیدتر به ۷/۱۳ درصد خواهد رسید. همچنین در سال ۲۰۷۰ میلادی کمترین مقدار رویشگاه‌های مطلوب ازدست‌رفته تحت RCP 2.6 و برابر با ۷۲/۷۹ درصد خواهد بود و بیشترین میزان رویشگاه‌های مطلوب ازدست‌رفته تحت RCP 8.5 و برابر با ۸۹/۸۵ درصد خواهد بود. پیشنهاد می‌شود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی درباره این گونه با مدنظر قرار دادن اثر تغییر اقلیم و سازگار با این تغییرات در جنگل‌های هیرکانی گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: عدم قطعیت، مدل‌های پراکنش گونه‌ای، مدل‌های ترکیبی، مطلوبیت رویشگاه.

مقدمه

بجنورد دیده می‌شوند (Marvi Mohadjer, 2012). این جنگل‌ها در حدود ۸۰۰ کیلومتر طول و ۱۱۰ کیلومتر عرض دارند و مساحت کلی آنها ۱/۸۵ میلیون هکتار

جنگل‌های هیرکانی به‌صورت نوار باریک و بلندی روی دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز از آستارا تا گلی داغی در

درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Attarod et al., 2017).

تغییرات در اقلیم سبب تغییرات در پراکنش و مرز گونه‌ها می‌شود و تغییرات اقلیمی در آینده ممکن است موجب انقراض جمعیت‌ها و گونه‌ها، تغییرات فنولوژی و کنش‌های متقابل تغذیه‌ای، تغییرات محدوده پراکنش، مهاجرت، تنش‌های زیستی دگرگون‌شده و ناسازگاری گونه‌ها با شرایط محلی شود (Koralewski et al., 2015). اقلیم یکی از عوامل اصلی پراکنش گونه‌های گیاهی در مناطق بزرگ مانند یک اکوپرووینس یا ناحیه جنگلی است. درک سازوکار و تأثیر اقلیم بر سیمای سرزمین برای مدیریت و حفاظت موفق منابع جنگلی لازم است و تغییرات اقلیم می‌تواند در پراکنش و ترکیب جنگل‌ها اثر داشته باشد (Wang et al., 2013). یکی از سریع‌ترین اثرهای تغییر اقلیم، جابه‌جایی در محدوده جغرافیایی گونه‌هاست، چراکه سبب تغییر الگوهای دما و رطوبت می‌شود که به‌طور معمول تعیین‌کننده مرزهای گونه‌هاست. این موضوع، سبب تغییر پراکنش گونه‌ها و محدودیت‌های دامنه پراکنش به‌همراه نابودی گونه‌ها در محدوده ارتفاعی و عرض جغرافیایی پایین‌تر می‌شود (Zomer et al., 2015).

اساس پیش‌بینی پراکنش گیاهان و جانوران، مدل‌های پراکنش گونه‌ای^۱ هستند که ارتباط بین پراکنش گونه‌ها و متغیرهای محیطی را بررسی می‌کنند. مدل‌های پراکنش گونه‌ای به‌عنوان مدل‌های آشیان اکولوژیک و مدل‌های مطلوبیت رویشگاه نیز شناخته می‌شوند. مدل‌های پراکنش گونه‌ای به‌طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌ها در گذشته، حال و آینده به‌کار می‌روند و کاربرد آنها با افزایش آگاهی از آثار تغییر اقلیم آینده بر گونه‌ها به‌طور چشمگیری گسترش یافته است (Remya et al., 2015).

است که ۱۵ درصد از کل جنگل‌های ایران و ۱/۱ درصد از کل مساحت ایران را در بر می‌گیرند. عده‌ای از باستان‌شناسان گیاهی، جنگل‌های خزر را سیستم‌های اکولوژیکی بازمانده می‌نامند (Sagheb-Talebi et al., 2014). در جنگل‌های هیرکانی، حدود ۸۰ گونه درختی و ۵۰ گونه چوبی وجود دارد (Marvi Mohadjer, 2012). گونه راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در شرق اروپا، قفقاز، شمال ترکیه و شمال ایران پراکنش دارد (Adel et al., 2014). این گونه از گونه‌های درختی مهم و صنعتی‌ترین گونه جنگل‌های هیرکانی است که از غرب (آستارا) تا شرق (دره زیارت واقع در گرگان) گسترش دارد. این گونه در حدود ۱۷/۶ درصد از کل مساحت جنگل‌های شمال کشور را می‌پوشاند و دربرگیرنده ۳۰ درصد از حجم سرپا و ۲۳/۶ درصد از تعداد پایه‌های درختی در جنگل‌های هیرکانی است. این گونه بین ارتفاع ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا، گونه درختی غالب است، درحالی که پایه‌های انفرادی یا گروه‌های کوچک از این گونه را می‌توان در ارتفاعات ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا دید (Sagheb-Talebi et al., 2014).

گرم شدن سامانه اقلیمی، آشکار و بدیهی است و از دهه ۱۹۵۰ بسیاری از تغییرات مشاهده‌شده بی‌سابقه‌اند. میانگین جهانی دما در طول ۱۰۰ سال گذشته حدود ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و سرعت افزایش دما در طول ۳۵ سال اخیر نسبت به ۱۰۰۰ سال گذشته بیشتر بوده است (IPCC, 2013). با توجه به تغییرات جهانی اقلیم، تغییر اقلیم در ایران نیز اجتناب‌ناپذیر است. براساس نتایج طرح آشکارسازی تغییر اقلیم، در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک ایران روند افزایش دما مشاهده شده است. نتایج بررسی‌های اقلیمی به‌وضوح نشان می‌دهد که در طی ۵۰ سال گذشته، اقلیم خزر گرم‌تر شده (Jafari, 2008) و به‌طور کلی در طی بیست سال اخیر، میانگین دمای ناحیه رویشی خزر، ۰/۷۴

خوب کاهش خواهد یافت. همچنین تحت RCP 8.5 در سال ۲۰۷۰ میلادی سطح هر سه نوع رویشگاه دارای مطلوبیت متوسط، خوب و خیلی خوب کاهش خواهد یافت. در پژوهش دیگری Haidarian Aghakhani et al., (2017) اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) را در استان چهارمحال و بختیاری بررسی کردند. آنها از روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی، شبکه عصبی مصنوعی، مدل جمعی تعمیم‌یافته و جنگل تصادفی در چارچوب روش تلفیقی استفاده کردند. نتایج نشان داد که تحت سناریوی RCP 4.5 در سال ۲۰۵۰، وسعت رویشگاه‌های فعلی بلوط ایرانی ۳۵/۷ درصد کاهش می‌یابد و همچنین حدود ۶۱/۴ از مناطقی که در حال حاضر شرایط اقلیمی مناسبی برای حضور این گونه ندارند تحت تاثیر تغییر اقلیم به رویشگاه‌های مطلوب تبدیل خواهند شد.

با اینکه نگرانی‌های زیادی درباره اثر تغییر اقلیم بر تنوع زیستی وجود دارد، در حال حاضر آثار این موضوع بر گونه‌های گیاهی و جانوری کشورمان ناشناخته مانده است و دانش اندکی در این زمینه وجود دارد. علی‌رغم قدمت جنگل‌های هیرکانی و تنوع زیاد گونه‌های گیاهی در این جنگل‌ها، تاکنون هیچ پژوهشی درباره اثرهای تغییر اقلیم بر پراکنش یا نابودی آنها انجام نگرفته است. یکی از گونه‌های مهم و اصلی این جنگل‌ها گونه راش است. در این پژوهش پراکنش جغرافیایی این گونه 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 و طرح‌های حفاظتی و احیا در جنگل‌های هیرکانی استفاده شود، به‌صورتی که این تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌ها سازگار با اثرهای تغییر اقلیم باشند.

مدیران جنگل باید درباره طرح‌های مدیریتی طولانی‌مدت تصمیم‌گیری کنند، درحالی که عدم قطعیت درباره اثر تغییر اقلیم هنوز هم خیلی زیاد است. منابع زیادی برای عدم قطعیت وجود دارند که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از: الف) عدم قطعیت‌های اقلیمی ناشی از مدل‌های گردش عمومی^۱ (GCMs) و سناریوهای مختلف برای خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای^۲ (RCPs)؛ ب) عدم قطعیت‌های مدلی ناشی از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی و ورودی‌ها و پارامترهای آنها؛ و ج) عدم قطعیت‌های ناشی از فرض‌های نادرست برای بیولوژی یک گونه (Lindner et al., 2014). یکی از راه‌حل‌های مناسب برای کاهش این عدم قطعیت، استفاده از پیش‌بینی یا مدل‌های ترکیبی^۳ است (Araújo & New, 2007) که در آن، مدل‌های پراکنش گونه‌ای متفاوت، مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای مختلف تغییر اقلیم ترکیب می‌شوند (Vieilledent et al., 2013).

در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی درباره اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های درختی در جهان انجام گرفته است (Chala et al., 2016; Koralewski et al., 2015; Remya et al., 2015; Vieilledent et al., 2013). با وجود این، مطالعات تأثیر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی در ایران انگشت‌شمار بوده‌اند. Sadat Fatemi Azarkhavarani et al., (2017) پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Juniperus excelsa* را با استفاده از مدل MaxEnt در استان سمنان بررسی کردند. نتایج نشان داد که تحت RCP 2.6 در سال ۲۰۷۰، مساحت رویشگاه‌های دارای مطلوبیت متوسط افزایش خواهد یافت، درحالی که سطح رویشگاه‌های دارای مطلوبیت خوب و خیلی

1. General Circulation Models
2. Representative Concentration Pathways
3. Ensemble models

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه پژوهش جنگل‌های هیرکانی است که بین عرض جغرافیایی 36° تا 38° شمالی و طول جغرافیایی 48° تا 56° شرقی واقع شده است. گسترش عمودی جنگل‌های هیرکانی از سطح دریا آغاز می‌شود و حداکثر تا ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا ادامه دارد. میانگین بارندگی سالانه بین ۵۳۰ میلی‌متر در شرق و ۱۳۵۰ میلی‌متر در غرب است. در طول دهه گذشته، میانگین دمای سالانه بین ۱۵ درجه سانتی‌گراد در غرب و $17/5$ درجه سانتی‌گراد در شرق متغیر است.

روش پژوهش

مرحله مختلف مطالعه اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه راش شرقی در جنگل‌های هیرکانی به صورت شماتیک در شکل ۱ ارائه شده است.

داده‌های حضور گونه راش

داده‌های حضور و غیاب گونه راش از داده‌های آماربرداری طرح‌های جنگلداری جنگل‌های شمال کشور به دست آمد. برای اجتناب از اریب ناشی از نمونه‌برداری در مناطق دارای طرح جنگلداری، برای هر ۱ کیلومتر مربع تنها یک داده حضور برای گونه راش انتخاب شد (در تفکیک فضایی ۳۰ ثانیه یا ۱ کیلومتر مربع) (Zhang et al., 2012). همچنین داده‌های غیاب تکمیلی در مناطقی که فاقد هرگونه پوشش درختی بودند، با استفاده از نقشه پوشش درختی GlobeCover 2009 (Arino et al., 2012) و بسته ecospat در محیط نرم‌افزار R نسخه 3.4.0 استخراج شد. در نهایت برای گونه راش ۱۰۹۲ داده حضور و ۲۵۱۱ داده غیاب به دست آمد.

متغیرهای محیطی

نوزده متغیر زیست‌اقلیمی (جدول ۱) ریزمقیاس شده برای شرایط اقلیمی فعلی (۱۹۵۰-۲۰۰۰) و آینده (۲۰۷۰ میلادی؛ میانگین برای سال‌های ۲۰۶۰

تا ۲۰۸۰ میلادی) با تفکیک فضایی ۱ کیلومتر مربع از پایگاه داده‌های Worldclim (www.worldclim.org) به دست آمد. در این تحقیق، برای بررسی اثر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی (میانگین برای سال‌های ۲۰۶۰ تا ۲۰۸۰ میلادی) و با توجه به عدم قطعیت‌های ناشی از مدل گردش عمومی جو (GCMs)، از پنج مدل گردش عمومی شامل HadGEM2-ES، CCSM4، BCC-CSM1-1، MRI-CGCM3 و MIROC-ESM RCP 8.5 و RCP 6.0، RCP 4.5، RCP 2.6 استفاده شد. متغیر ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع (DEM) سنجنده ASTER با تفکیک مکانی ۳۰ متر به دست آمد و از آن برای تولید لایه‌های شیب، جهت جغرافیایی و شاخص پرتوگیری توپوگرافیک^۱ توسط بسته raster در محیط R استفاده شد. از نقشه منابع و استعداد خاک‌های ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (تهیه شده توسط مؤسسه تحقیقات آب و خاک ایران در سال ۱۳۸۰) برای آماده‌سازی متغیر رسته‌ای خاک استفاده شد. برای بررسی هم‌خطی میان متغیرهای محیطی از یک فرایند گام‌به‌گام و تخمین عامل تورم واریانس^۲ (VIF) با استفاده از بسته usdm در محیط R استفاده شد و تنها متغیرهایی با مقدار VIF کمتر از ۱۰ انتخاب شدند (Naimi et al., 2014). در نهایت ۹ 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 تغییرات)، BIO₁₉: بارندگی در سردترین فصل سال، شیب، مقادیر جهت جغرافیایی، شاخص پرتوگیری توپوگرافیک و خاک به منظور مدل‌سازی وارد مدل‌ها شدند.

1. Topographic exposure
2. Variance Inflation Factor



شکل ۱- مراحل اجرای پژوهش

جدول ۱- متغیرهای زیست‌اقلیمی استفاده‌شده در پژوهش

نام اختصاری	متغیر زیست‌اقلیمی	نام اختصاری	متغیر زیست‌اقلیمی
BIO 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 ((100 × (BIO ₇ /BIO ₂))	BIO ₁₃	بارندگی در مرطوب‌ترین ماه سال
BIO ₄	تغییرات فصلی دما (100 × انحراف معیار)	BIO ₁₄	بارندگی در خشک‌ترین ماه سال
BIO ₅	حداکثر دما در گرم‌ترین ماه	BIO ₁₅	تغییرات بارندگی فصلی (ضریب تغییرات)
BIO ₆	حداقل 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		

مدل‌های پراکنش گونه‌ای

در این پژوهش برای در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از روش‌های مختلف مدل‌سازی، از پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته^۱ (GLM)، مدل جمعی تعمیم‌یافته^۲ (GAM)، تحلیل طبقه‌بندی درختی^۳ (CTA)، مدل رگرسیون تقویت‌شده^۴ (GBM) و روش جنگل‌های تصادفی^۵ (RF) برای پیش‌بینی پراکنش فعلی گونه‌ی راش و همچنین ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش آینده این گونه استفاده شد. مدل‌سازی‌ها با استفاده از بسته biomod2 در محیط نرم‌افزار R انجام گرفت.

ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از پنج تکرار دسته‌بندی تصادفی برای هر یک از پنج مدل پراکنش گونه‌ای استفاده شد. 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 گونه‌ی راش از مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) در تحلیل ویژگی عملیاتی پذیرنده (ROC) استفاده شد که برای مشخص کردن کارایی مدل به کار می‌رود و مقادیر آن از صفر تا یک تغییر می‌کند. AUC با مقدار ۰/۵ نشان می‌دهد که کارایی تمایز مدل به صورت تصادفی است. مدل با مقدار AUC بین ۰/۷ تا ۰/۸ دارای دقت کم، 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. در این پژوهش مدل‌های دارای مقادیر AUC بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۷ برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی راش در شرایط مختلف اقلیمی استفاده شد (Shirley et al., 2013).

مدل ترکیبی پراکنش گونه‌ی راش تحت شرایط

مختلف اقلیمی^{۵۴۳۲۱}

احتمال پراکنش گونه‌ی راش با استفاده از پنج مدل پراکنش گونه‌ای در شرایط اقلیمی مختلف (فعلی، آینده: تحت پنج مدل گردش عمومی جو و چهار RCP برای سال ۲۰۷۰) تولید شد. برای تبدیل نقشه‌های احتمال حضور به نقشه‌های حضور و غیاب از دو آستانه مختلف استفاده شد: الف) بیشینه‌سازی آماره مهارت درست^۶ (TSS؛ ب) بیشینه‌سازی Kappa. در مرحله بعد نقشه‌های حضور و غیاب با استفاده از میانگین‌گیری از نقشه‌های انفرادی حضور و غیاب گونه‌ی راش به نقشه ترکیبی حضور و غیاب این گونه تحت شرایط اقلیمی مختلف تبدیل شدند. در نهایت نقشه‌های حضور و غیاب تلفیقی براساس سهم مدل‌هایی که حضور و غیاب گونه را در هر رویشگاه پیش‌بینی می‌کنند، به سه گروه طبقه‌بندی شدند (Chala et al., 2016): الف) رویشگاه‌هایی که کمتر از ۳۰ درصد مدل‌ها حضور گونه‌ی راش را در آنها پیش‌بینی می‌کنند (رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیت زیاد)؛ ب) رویشگاه‌هایی که بین ۳۰ تا ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه‌ی راش را در آنها پیش‌بینی می‌کنند (عدم قطعیت در مطلوبیت رویشگاه‌ها)؛ ج) رویشگاه‌هایی که بیشتر از ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه‌ی راش را در آنها پیش‌بینی می‌کنند (رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد).

تحلیل تغییرات اندازه محدودده پراکنش گونه‌ی

راش تحت تأثیر تغییر اقلیم

برای تحلیل تغییرات اندازه محدودده پراکنش^۷ گونه‌ی راش تحت تأثیر تغییر اقلیم، نقشه‌های تلفیقی

1. Generalized Linear Model
2. Generalized Additive Model
3. Classification Tree Analyses
4. Generalized Boosting Model
5. Random Forests
6. True Skill Statistic
7. Range Size Analysis

رویشگاه‌هایی که هم در شرایط اقلیمی فعلی و هم در شرایط اقلیمی آینده برای گونه راش نامطلوب‌اند و این گونه در آنها حضور ندارد.

نتایج

مدل‌سازی پراکنش گونه راش

صحت پیش‌بینی پراکنش گونه راش برای همه مدل‌ها با میانگین $0/86$ ($\pm 0/01$) = انحراف معیار) خوب بود (جدول ۲). مدل‌های دارای مقادیر AUC بیشتر از $0/70$ دارای قدرت تمایز قابل قبول بودند. روش مدل‌سازی GBM با میانگین AUC معادل $0/88$ ($\pm 0/01$) = انحراف معیار) دارای بیشترین موفقیت پیش‌بینی و روش مدل‌سازی CTA با مقدار میانگین AUC معادل $0/82$ ($\pm 0/01$) = انحراف معیار) دارای کمترین موفقیت در پیش‌بینی پراکنش گونه راش بودند.

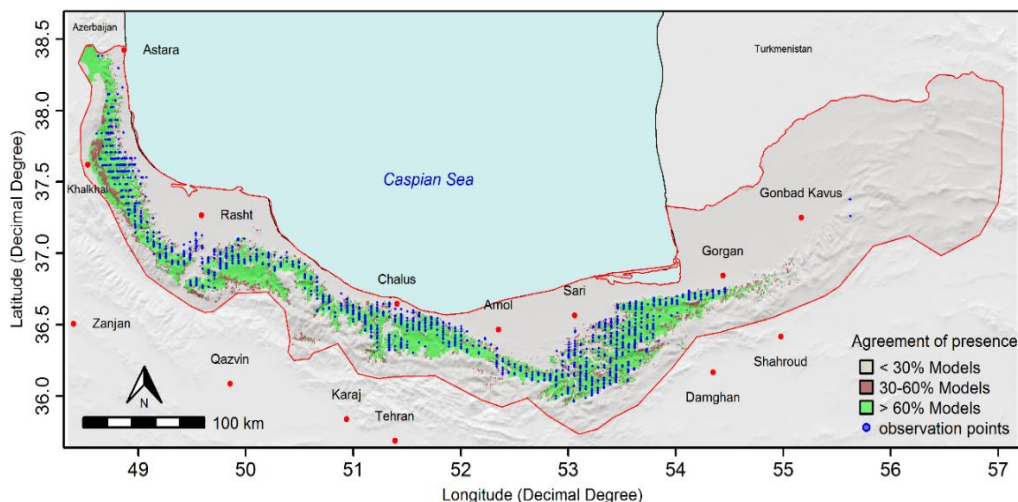
حضور و غیاب به‌دست‌آمده در دو گروه طبقه‌بندی مجدد شدند: الف) رویشگاه‌های مطلوب که در آنها بیشتر از ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه راش را پیش‌بینی می‌کنند؛ ب) رویشگاه‌های نامطلوب که در آنها کمتر از ۶۰ درصد مدل‌ها حضور گونه راش را پیش‌بینی می‌کنند. در نهایت نقشه‌های تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه راش در چهار گروه زیر به‌دست آمد: الف) رویشگاه‌های پایدار: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه راش در آنها حضور دارد و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز این گونه در آنها حضور داشته باشد؛ ب) رویشگاه‌های ازدست‌رفته: رویشگاه‌هایی که گونه راش در حال حاضر در آنها حضور دارد، ولی پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیم موجب نامطلوب شدن شرایط اقلیمی برای این گونه شود؛ ج) رویشگاه‌های به‌دست‌آمده: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه راش در آنها حضور ندارد، ولی تغییر اقلیم سبب مناسب شدن شرایط اقلیمی برای حضور این گونه می‌شود؛ د) رویشگاه‌های نامطلوب:

جدول ۲- صحت مدل به‌دست‌آمده از میانگین مقادیر AUC در مقابل داده‌های مستقل

تکرار مدل‌ها	الگوریتم‌های مدل‌سازی					
	RF	GBM	CTA	GAM	GLM	انحراف معیار
۱	0/893	0/888	0/835	0/885	0/872	0/02
۲	0/891	0/880	0/821	0/874	0/869	0/02
۳	0/880	0/871	0/830	0/861	0/858	0/02
۴	0/883	0/873	0/828	0/863	0/858	0/02
۵	0/881	0/873	0/803	0/862	0/856	0/03
میانگین	0/87	0/88	0/82	0/87	0/86	0/02
انحراف معیار	$\pm 0/01$	$\pm 0/01$	$\pm 0/01$	$\pm 0/01$	$\pm 0/01$	

راش، ۱۷۳۷۵ کیلومتر مربع است، درحالی که مساحت رویشگاه‌های دارای عدم قطعیت در مطلوبیت معادل ۴۱۱۴ کیلومتر مربع است (شکل ۲ و جدول ۳).

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه راش در سال ۲۰۷۰ میلادی
نتایج نشان داد که در شرایط اقلیمی کنونی، مساحت رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد برای گونه



شکل ۲- پراکنش گونه راش تحت تأثیر اقلیم فعلی در جنگل‌های هیرکانی

نتایج تغییرات رویشگاه‌های مطلوب گونه راش در شرایط قطعیت و عدم قطعیت تحت تأثیر تغییر اقلیم (جدول ۳ و شکل ۳) نشان داد که در سال ۲۰۷۰ میلادی تحت تأثیر تغییر اقلیم، مساحت رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد در خوش‌بینانه‌ترین سناریو (RCP 2.6) ۷۲/۷۹ درصد و در بدبینانه‌ترین سناریو (RCP 8.5) ۸۹/۸۵ درصد کاهش خواهد داشت. همچنین رویشگاه‌های دارای عدم قطعیت در مطلوبیت در سال ۲۰۷۰ میلادی، تحت RCP 2.6 معادل ۵۸/۴۲ درصد افزایش و تحت RCP 8.5 معادل ۵۱/۰۷ درصد کاهش خواهد یافت (جدول ۳ و شکل ۳).

جدول ۳- مساحت و تغییرات رویشگاه‌های مطلوب گونه راش در شرایط قطعیت و عدم قطعیت تحت تأثیر تغییر اقلیم

تغییرات رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت بالا*	تغییرات رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت بالا	تغییرات رویشگاه‌های دارای عدم قطعیت در مطلوبیت*	تغییرات رویشگاه‌های دارای عدم قطعیت در مطلوبیت	تغییرات رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیت زیاد*		تغییرات رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیت زیاد	شرایط اقلیمی
				کیلومتر مربع	درصد		
-	-	-	۴۱۱۴	-	-	۸۵۳۷۰	فعلی
-۷۲/۷۹	-۱۲۶۴۷	+۶۵/۷۳	۶۸۱۸	+۱۲/۰۰	+۱۰۲۴۳	۹۵۶۱۳	RCP 2.6
-۷۹/۹۳	-۱۳۸۸۸	+۶۸/۱۶	۶۹۱۸	+۱۲/۹۸	+۱۱۰۸۴	۹۶۴۵۴	RCP 4.5
-۸۴/۴۶	-۱۴۶۷۵	+۱۳/۸۳	۴۶۸۳	+۱۶/۵۲	+۱۶۱۰۶	۹۹۴۷۶	RCP 6.0
-۸۹/۸۵	-۱۵۶۱۲	-۵۱/۰۷	۲۰۱۳	+۲۰/۷۵	+۱۷۷۱۳	۱۰۳۰۸۳	RCP 8.5

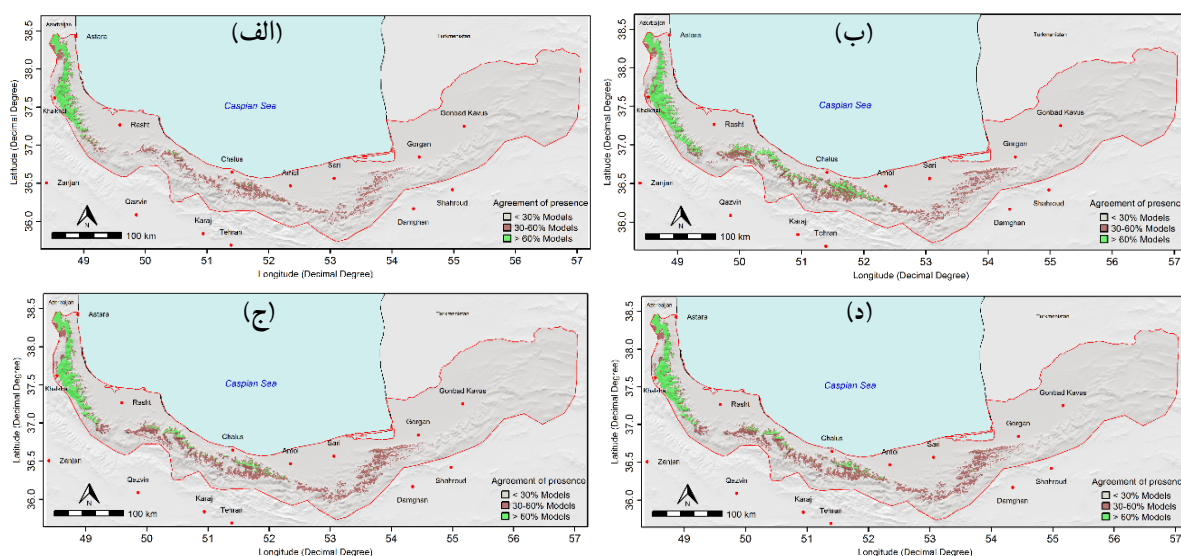
*علامت منفی (-) نشان‌دهنده کاهش و علامت مثبت (+) نشان‌دهنده افزایش سطح است.

متوسط ارتفاع رویشگاه‌های مطلوب در سال ۲۰۷۰ میلادی تحت RCP 2.6 (۱۶۷۹ متر) و حداکثر میانگین آن تحت RCP 8.5 (۱۹۴۳ متر) خواهد بود.

نتایج تغییرات ارتفاعی رویشگاه‌های مطلوب گونه راش تحت تأثیر تغییر اقلیم (جدول ۴) نشان داد که میانگین ارتفاع رویشگاه‌های راش در شرایط اقلیمی فعلی معادل ۱۳۸۷ متر از سطح دریاست. حداقل

جدول ۴- ارتفاع از سطح دریا در رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد برای گونه راش در شرایط مختلف اقلیمی

شرایط اقلیمی				ارتفاع از سطح دریا (متر)	
سال ۲۰۷۰ میلادی					
RCP 8.5	RCP 6.5	RCP 4.5	RCP 2.6	فعلی	
۱۹۴۳	۱۷۶۲	۱۷۸۹	۱۶۹۷	۱۳۸۷	میانگین
±۳۹۶	±۳۹۲	±۳۷۸	±۳۳۴	±۴۰۸	انحراف معیار
۱۱۷۱	۷۹۵	۷۹۵	۸۷۴	۲۸۷	کمینه
۲۹۹۳	۲۸۳۷	۲۹۰۷	۲۷۰۹	۲۳۹۹	بیشینه



شکل ۳- پراکنش گونه راش تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی در جنگل‌های هیرکانی. (الف): پراکنش تحت تأثیر RCP 2.6، (ب): پراکنش تحت تأثیر RCP 4.5، (ج): پراکنش تحت تأثیر RCP 6.0، (د): پراکنش تحت تأثیر RCP 8.5

رویشگاه‌های مطلوب فعلی (رویشگاه‌های مطلوب پایدار) مطلوبیت رویشگاهی خود را حفظ خواهند کرد، در صورتی که در بدبینانه‌ترین حالت (RCP 8.5) این میزان با کاهش شدیدتر به ۷/۱۳ درصد خواهد رسید. همچنین در سال ۲۰۷۰ میلادی کمترین

تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه راش نتایج تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه راش (جدول ۵ و شکل ۴) نشان می‌دهد که در شرایط تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی در خوش‌بینانه‌ترین حالت (RCP 2.6) تنها ۲۴/۸۰ درصد

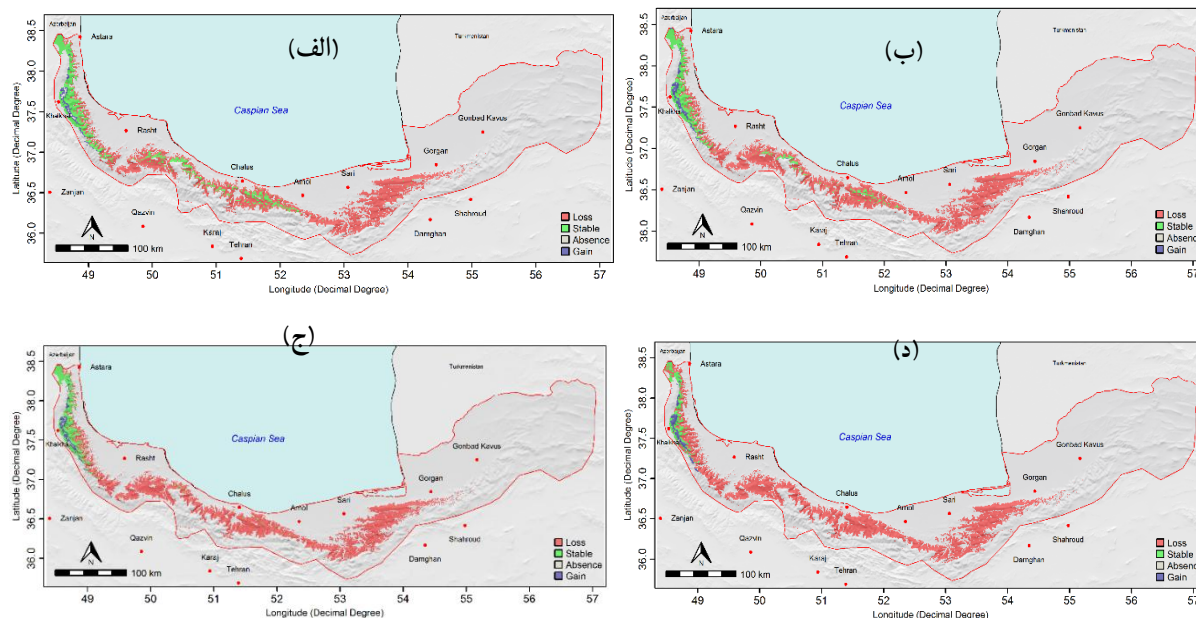
بود. رویشگاه‌های مطلوب به‌دست آمده در اثر تغییر اقلیم تحت RCP 2.6 معادل ۲/۴۱ درصد و تحت RCP 8.5 معادل ۳/۰۲ درصد خواهد بود.

مقدار رویشگاه‌های مطلوب ازدست‌رفته تحت سناریوی RCP 2.6 و برابر با ۷۲/۷۹ درصد خواهد بود و بیشترین میزان رویشگاه‌های مطلوب ازدست‌رفته تحت سناریو RCP 8.5 و برابر با ۸۹/۸۵ درصد خواهد بود.

جدول ۵- نتایج تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه راش تحت تأثیر تغییر اقلیم

تغییرات رویشگاه‌های مطلوب	رویشگاه‌های مطلوب به‌دست آمده تحت تأثیر تغییر اقلیم		رویشگاه‌های مطلوب ازدست‌رفته تحت تأثیر تغییر اقلیم		رویشگاه‌های مطلوب پایدار تحت تأثیر تغییر اقلیم		مجموع رویشگاه‌های مطلوب	شرایط اقلیمی
	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع		
-	-	-	-	-	-	-	۱۷۳۷۵	فعلی
-۷۲/۷۹	-۱۲۶۴۷	۲/۴۱	۴۱۹	۷۵/۲۰	۱۳۰۶۶	۲۴/۸۰	۴۳۰۹	RCP 2.6
-۷۹/۹۳	-۱۳۸۸۸	۳/۱۴	۵۴۵	۸۳/۰۷	۱۴۴۳۳	۱۶/۹۳	۲۹۴۲	RCP 4.5
-۸۴/۴۶	-۱۴۶۷۵	۲/۷۸	۴۸۳	۸۷/۲۴	۱۵۱۵۸	۱۲/۷۶	۲۲۱۷	RCP 6.0
-۸۹/۸۵	-۱۵۶۱۲	۳/۰۲	۵۲۵	۹۲/۸۸	۱۶۱۳۷	۷/۱۳	۱۲۳۸	RCP 8.5

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



شکل ۴- تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه راش تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ میلادی در جنگل‌های هیرکانی. (الف): تغییرات اندازه محدوده پراکنش تحت تأثیر RCP 2.6، (ب): تغییرات اندازه محدوده پراکنش تحت تأثیر RCP 4.5، (ج): تغییرات اندازه محدوده پراکنش تحت تأثیر RCP 6.0 و (د): تغییرات اندازه محدوده پراکنش تحت تأثیر RCP 8.5

بحث

همه روش‌های مدل‌سازی استفاده‌شده برای پیش‌بینی پراکنش گونه راش دارای مقدار میانگین AUC بالاتر از ۰/۸۲ بودند. مقدار AUC بین ۰/۸ و ۰/۹ نشان می‌دهد که این مدل‌ها دارای قابلیت خوبی برای پیش‌بینی پراکنش گونه راش در منطقه مورد مطالعه هستند. در این پژوهش، نتایج مدل‌سازی پراکنش گونه راش در شرایط اقلیمی فعلی نشان داد که رویشگاه‌های مطلوب گونه راش از آستارا تا حوالی گرگان گسترش دارند که این موضوع با محدوده پراکنش ذکرشده توسط (Marvi Mohadjer 2012) و (Sagheb-Talebi et al. 2014) همخوانی دارد. از طرف دیگر، انطباق نقاط حضور بر نقشه پراکنش گونه راش نیز تأییدکننده این موضوع است.

نتایج حاصل از پراکنش گونه راش تحت تأثیر اقلیم نشان می‌دهد که این گونه در شرایط اقلیمی گرم‌تر، بخش‌های وسیعی از رویشگاه‌های مناسب خود را از دست خواهد داد. در میان اکوسیستم‌های جهان، جنگل‌های کوهستانی و رویشگاه‌های منحصربه‌فرد آنها، به‌وضوح در معرض تغییرات اقلیمی قرار دارند و کاهش شدید محدوده پراکنش از خصوصیات سیستم‌های کوهستانی هستند که فضاهاى کوچکی برای جابه‌جایی به‌طرف ارتفاعات بیشتر دارند. از آنجا که جنگل‌های هیرکانی به‌صورت نوار باریکی هستند، این موضوع ممکن است در مورد از بین رفتن بخش بزرگی از رویشگاه‌های مطلوب گونه راش در اثر تغییر اقلیم صدق کند. (Engler et al., 2011) در پژوهشی با مطالعه اثر تغییر اقلیم بر گیاهان در کوهستان‌های اروپا به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل کمتر بودن فضاها برای جابه‌جایی رو به بالای گونه‌های گیاهی در اثر تغییر اقلیم، وضعیت در رویشگاه‌های مطلوب از دست‌رفته در مناطق کوهستانی مانند پیرنه و بخش‌های شرقی آلپ بسیار شدیدتر از مناطق دیگر مانند بخش‌های اصلی آلپ، کارپاتین و کوهستان‌های

اسکاتلند و اسکاندیناوی است. همچنین (Chala et al. 2016) در پژوهشی با مطالعه اثر اقلیم بر پراکنش گونه *Lobelia rhynchopetalum* از دست رفتن مناطق وسیعی از رویشگاه‌های مطلوب این گونه را ناشی از کم بودن فضا برای جابه‌جایی این گونه به ارتفاعات بالاتر می‌دانند. در مطالعات مختلف، اثر گرمایش جهانی بر کاهش رویشگاه‌های مطلوب گونه‌های مختلف جنس راش گزارش شده است. (Matsui et al. 2009) در پژوهشی با مطالعه درباره اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Fagus crenata* در ژاپن نتیجه گرفتند که با افزایش دما و کاهش بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم، رویشگاه‌های مطلوب این گونه به‌شدت کاهش خواهد یافت. در پژوهشی (Iverson & Prasad 2002) پیش‌بینی کردند که تغییر اقلیم سبب کاهش شدید رویشگاه مطلوب *Fagus grandifolia* در آمریکا خواهد شد. همچنین (Kramer et al. 2010) پیش‌بینی کردند که بخش وسیعی از رویشگاه‌های مطلوب گونه *Fagus sylvatica* در اروپا در اثر تغییر اقلیم از بین خواهد رفت.

نتایج نشان داد که در اثر تغییر اقلیم، رویشگاه‌های مطلوب در ارتفاع بالاتری از سطح دریا خواهند بود. میانگین ارتفاع از سطح دریا برای رویشگاه‌های مطلوب گونه راش در شرایط اقلیمی فعلی برابر با ۱۳۸۷، کمینه آن ۲۸۷ و بیشینه آن ۲۵۷۸ متر از سطح دریاست. در حالی که در سال ۲۰۷۰ میلادی در خوش‌بینانه‌ترین سناریو (RCP2.6) میانگین ارتفاع از سطح دریای رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد به میزان ۳۱۰ متر افزایش خواهد یافت. همچنین در سال ۲۰۷۰ میلادی در بدبینانه‌ترین سناریو (RCP 8.5) میانگین ارتفاع از سطح دریای رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد به میزان ۵۵۶ متر افزایش خواهد داشت. انتظار می‌رود که در مناطق کوهستانی گونه‌های درختی در واکنش به تغییر اقلیم

در ارتفاعات بالای غرب گیلان و آستارا پیش‌بینی می‌شود. در اثر تغییر اقلیم تحت RCP 8.5 همه‌ی رویشگاه‌های استان گلستان، بخش بزرگی از رویشگاه‌های استان مازندران و بخش‌هایی از استان گیلان و آستارا مطلوبیت اقلیمی خود را از دست خواهند داد. تحت این سناریو، این گونه تنها در بخش کوچکی در ارتفاعات میانی استان مازندران بین آمل تا چالوس، بخش‌هایی از ارتفاعات میانی شرق و مرکز گیلان و ارتفاعات بالای غرب گیلان و ارتفاعات میانی تا بالای آستارا وجود خواهد داشت.

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ی راش در بخش‌های شرقی و مرکزی شدیدتر از بخش‌های غربی جنگل‌های هیرکانی خواهد بود. این دو ناحیه از نظر رژیم‌های بارندگی کاملاً با هم تفاوت دارند و در جنگل‌های هیرکانی از غرب به شرق، میانگین دمای سالانه افزایش و میانگین بارندگی سالانه کاهش می‌یابد (Sagheb-Talebi et al., 2014). این موضوع سبب می‌شود که رویشگاه‌های راش در مناطق مرکزی و شرقی جنگل‌های هیرکانی (به‌ویژه در استان‌های مازندران و گلستان) شکننده‌تر باشند و تغییر اقلیم تأثیرات منفی شدیدتری بر رویشگاه‌های راش در این نواحی داشته باشد.

تغییر اقلیم به‌دلیل تأثیر مستقیم بر کارکردها و خدمات جنگل و همچنین فاصله‌ی طولانی بین تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و تبعات آنها، از چالش‌های اساسی مدیران جنگل است. با توجه به این موضوع، مدیران جنگل با عدم قطعیت زیادی مواجه خواهند بود، چراکه شرایط رویشگاهی به‌طور کلی برای آینده ثابت در نظر گرفته می‌شود، درحالی که پارامترهای اقلیمی نظیر دما، بارندگی و آب در دسترس گیاهان تحت تأثیر اقلیم تغییر خواهد کرد (Brang et al., 2014). یافته‌های این پژوهش پیش‌بینی می‌کند که رویشگاه‌های مطلوب و به‌تبع آن پراکنش گونه‌ی راش در جنگل‌های هیرکانی به‌شدت تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت.

به سمت ارتفاعات بالاتر گسترش پیدا کنند (Lin et al., 2014). در تحقیقات دیگر نیز موضوع گسترش ارتفاعی پراکنش گونه‌ها تحت تأثیر اقلیم تأیید شده است (Cheaib et al., 2012; Haidarian, 2010; Kramer et al., 2010; Aghakhani et al., 2017) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

یافته‌های این پژوهش نشان داد در جنگل‌های هیرکانی، گونه‌ی راش به تغییرات اقلیمی بسیار حساس است، به‌صورتی که حتی با خفیف‌ترین گرمایش جهانی تحت RCP 2.6 در سال ۲۰۷۰ میلادی معادل ۷۲/۷۹ درصد از رویشگاه‌های مطلوب خود را از دست خواهد داد. این موضوع ممکن است ناشی از این موضوع باشد که به‌طور کلی در تعیین پراکنش گونه‌های جنس راش اثرهای اقلیم حرارتی از اثرهای رطوبت مهم‌تر است (Fang & Lechowicz, 2006) و در نتیجه، تغییرات حرارتی می‌تواند به‌شدت بر مطلوبیت رویشگاهی این گونه تأثیر بگذارد.

با توجه به نقشه‌های حاصل از تحلیل اندازه‌ی دامنه‌ی گونه‌ی راش می‌توان نتیجه گرفت که در خوش‌بینانه‌ترین سناریوی تغییر اقلیم (RCP 2.6)، همه‌ی رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد در استان‌های گلستان و شرق مازندران به رویشگاه‌های دارای عدم قطعیت در مطلوبیت و رویشگاه‌های نامطلوب با قطعیت زیاد تبدیل خواهند شد. از طرف دیگر، تأثیرات تغییر اقلیم تحت RCP 2.6 در مرکز و غرب مازندران، گیلان و آستارا خفیف‌تر است و از دست رفتن رویشگاه‌های مطلوب با قطعیت زیاد یا تبدیل آنها به رویشگاه‌های دارای عدم قطعیت در مطلوبیت، بیشتر در ارتفاعات پایین و ارتفاعات بسیار بالای مازندران و ارتفاعات پایین شرق و مرکز گیلان دیده می‌شود. در غرب گیلان و آستارا از دست رفتن رویشگاه‌های مطلوب به‌صورت جزئی‌تر در ارتفاعات پایین مشاهده می‌شود. مساحت رویشگاه‌هایی که تحت تأثیر تغییر اقلیم به رویشگاه‌های مطلوب راش با قطعیت زیاد اضافه خواهند شد بسیار کم است و تنها

خود را در جنگل‌های هیرکانی از دست خواهد داد. انتظار می‌رود جابه‌جایی مرزهای پراکنش گونه راش هم در جهت شرقی-غربی و هم در گرادیان ارتفاعی باشد. این تغییرات می‌تواند خطر زیادی در کارکردها و خدمات این جنگل‌ها ایجاد کند. در پایان پیشنهاد می‌شود که در مدیریت جنگل‌ها از تصمیم‌گیری‌ها و شیوه‌های جنگل‌شناسی سازگار با تغییر اقلیم استفاده شود و همچنین طرح‌های حفاظت گونه راش منطبق بر تأثیرات تغییر اقلیم تهیه شود. برای مثال، استفاده از شیوه‌های جنگل‌شناسی که به افزایش تنوع ساختمانی جنگل، حفظ و افزایش تنوع ژنتیکی درختان و افزایش مقاومت آنها به تنش‌های زیستی و غیرزیستی منجر می‌شود، سبب سازگاری بیشتر جنگل با تأثیرات تغییر اقلیم خواهد شد. همچنین باید پژوهش‌هایی برای بررسی اثر تغییر بر دیگر گونه‌های درختی این جنگل‌ها انجام گیرد.

گونه راش در حدود ۱۷/۶ درصد از کل سطح جنگل‌های شمال کشور را می‌پوشاند و دربرگیرنده ۳۰ درصد از حجم سرپا و ۲۳/۶ درصد از تعداد پایه‌های درختی در جنگل‌های هیرکانی است (Sagheb-Talebi et al., 2014) و در نتیجه اثر تغییر اقلیم بر این گونه می‌تواند جنگل‌های هیرکانی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به این موارد، باید تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی در مورد این گونه با مدنظر قرار دادن اثر تغییر اقلیم و سازگار با این تغییرات در جنگل‌های هیرکانی صورت گیرد. جنگل‌های هیرکانی گستره وسیعی از خدمات را به محیط زیست و جوامع محلی ارائه می‌کنند و اهمیت حیاتی در نگهداری از خاک و تصفیه آب دارند. تغییر اقلیم تأثیرات شدیدی بر مطلوبیت رویشگاه‌های راش خواهد داشت و به‌طور کلی این گونه حتی تحت خوش‌بینانه‌ترین سناریوی تغییر اقلیم (RCP 2.6)، قسمت عمده رویشگاه‌های مطلوب

References

- Adel, M. N., Pourbabaei, H., & Bazdid Vahdati, F. (2014). Floristic, life form, and chorological studies of unharvested beech (*Fagus orientalis* Lipsky) site in Zilaki forest. *Iranian Journal of Forest*, 6(2), 201–214.
- Araújo, M. B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(1), 42–47.
- Arino, O., Ramos Perez, J. J., Kalogirou, V., Bontemps, S., Defourny, P., & Van Bogaert, E. (2012). *Global Land Cover Map for 2009 (GlobCover 2009)*. European Space Agency (ESA) & Université catholique de Louvain (UCL), PANGAEA.
- Attarod, P., Kheirkhah, F., Khalighi Sigaroodi, S., Sadeghi, S. M. M., Dolatshahi, A., & Bayramzadeh, V. (2017). Trend analysis of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the Caspian region. *Iranian Journal of Forest*, 9(2), 171–185.
- Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J. B., Bauhus, J., Boncvcina, A., Chauvin, C., Drössler, L., Garcia-Güemes, C., Heiri, C., Kerr, G., & others. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 87(4), 492–503.
- Chala, D., Brochmann, C., Psomas, A., Ehrlich, D., Gizaw, A., Masao, C. A., Bakkestuen, V. & Zimmermann, N. E. (2016). Good-bye to tropical alpine plant giants under warmer climates? Loss of range and genetic diversity in *Lobelia rhynchopetalum*. *Ecology and Evolution*, 6(24), 8931–8941.

- Chebib, A., Badaeu, V., Boe, J., Chuine, I., Delire, C., Dufrière, E., François, C., Gritti, E. S., Legay, M., Pagé, C., & others. (2012). Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, 15(6), 533–544.
- Engler, R., Randin, C. F., Thuiller, W., Dullinger, S., Zimmermann, N. E., Araújo, M. B., Pearman, P. B., Le Lay, G., Piedallu, C., Albert, C. H., & others. (2011). 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, 17(7), 2330–2341.
- Fang, J., & Lechowicz, M.J. (2006). Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1804–1819.
- Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., & Tatian, M. (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(3), 497–511.
- Iverson, L. R., & Prasad, A. M. (2002). Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern US. *Forest Ecology and Management*, 155(1), 205–222.
- 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.
- 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(2), 314–326.
- Kramer, K., Degen, B., Buschbom, J., Hickler, T., Thuiller, W., Sykes, M. T., & de Winter, W. (2010). Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica L.*) under climate change—range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*, 259(11), 2213–2222.
- Koralewski, T.E., Wang, H.H., Grant, W.E., & Byram, T.D. (2015). Plants on the move: Assisted migration of forest trees in the face of climate change. *Forest Ecology and Management*, 344, 30–37.
- Lin, W.C., Lin, Y.P., Lien, W.Y., Wang, Y.C., Lin, C.T., Chiou, C.R., Anthony, J., & Crossman, N. D. (2014). Expansion of Protected Areas under Climate Change: An Example of Mountainous Tree Species in Taiwan. *Forests*, 5(11), 2882–2904.
- Lindner, M., Fitzgerald, J.B., Zimmermann, N.E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E., Schelhaas, M.J., Lasch, P., Eggers, J., van der Maaten-Theunissen, M., & others. (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.
- Marvi Mohadjer, M.R. (2012). *Silviculture*. Tehran: University of Tehran Publishing.
- Matsui, T., Takahashi, K., Tanaka, N., Hijioka, Y., Horikawa, M., Yagihashi, T., & Harasawa, H. (2009). Evaluation of habitat sustainability and vulnerability for beech (*Fagus crenata*) forests under 110 hypothetical climatic change scenarios in Japan. *Applied vegetation science*, 12(3), 328–339.
- Naimi, B., Hamm, N.A., Groen, T.A., Skidmore, A.K., & Toxopeus, A.G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*, 37(2), 191–203.
- Remya, K., Ramachandran, A., & Jayakumar, S. (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.
- Sadat Fatemi Azarkhavarani, S., Rahimi, M., Tarkesh, M., & Ravanbakhsh, H. (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(2), 233–248.
- Sagheb-Talebi, K., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Netherlands: Springer Publishing.

Shirley, S., Yang, Z., Hutchinson, R., Alexander, J., McGarigal, K., & Betts, M. (2013). Species distribution modelling for the people: unclassified landsat TM imagery predicts bird occurrence at fine resolutions. *Diversity and Distributions*, 19(7), 855–866.

Vieilledent, G., Cornu, C., Sanchez, A.C., Pock-Tsy, J.M. L., & Danthu, P. (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.

Wang, H., Shao, X., Jiang, Y., Fang, X., & Wu, S. (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.

Zhang, M.G., Zhou, Z.K., Chen, W.Y., Slik, J.F., Cannon, C.H., & Raes, N. (2012). Using species distribution modeling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. *Biological Conservation*, 153, 257–264.

Zomer, R. J., Xu, J., Wang, M., Trabucco, A., & Li, Z. (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.



Impacts of Climate Change on the Distribution of Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian Forests, Iran

H. Taleshi¹, S.GH. Jalali², S.J. Alavi^{3*}, S.M. Hosseini⁴ and B. Naimi^{5,6}

¹ Ph.D. Student of Forestry, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

² Associate Prof, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

³ Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

⁴ Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran

⁵ Researcher, Ecosystem Management, Dept. of Environmental Systems Science, ETH Zurich, Zurich, Switzerland

⁶ Researcher, Dept. for Migration and Immuno-ecology, Max Planck Institute for Ornithology, Radolfzell, Germany

(Received: 28 March 2018, Accepted: 29 June 2018)

Abstract

Due to global climate change, climate change in Iran is inevitable and the results of the climate studies clearly show that the Hyrcanian climate has been warmer over the past 50 years. In this research, the current and future distribution of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) was studied using an ensemble method including five different species distribution models. We used five general circulation models under four existing representative concentration pathway (RCPs) to project the impact of climate change on the distribution of oriental beech by 2070. In addition, the stable, gained and lost suitable habitat of oriental beech were determined using range size change analyses under climate change. The results indicated that the area of suitable habitats with high certainty would be decreased by 72.79% and 89.88% under RCP 2.6 and RCP 8.5, respectively, by 2070. The results of the range size analyses of oriental beech showed only 24.84% of suitable habitat would remain in the most optimistic condition (RCP 2.6) and stable the suitable habitat would decrease by 7.13% under RCP 8.5 by 2070. Also the lowest and highest rate of suitable habitats lost will be by 72.79% and 89.85% under RCP2.6 and RCP 8.5, respectively, by 2070. It is suggested that the climate change impacts should be considered in the management decisions and conservation plans related to the oriental beech in the Hyrcanian forests.

Key words: Ensemble models, habitats suitability, species distribution models, uncertainty