مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال یازدهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸
ص ۴۹۲-۴۷۷

مقاله پژوهشی

اهمیت متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی و خاک در پراکنش سرخدار و اولویت‌بندی رویشگاه‌های مطلوب برای حفاظت و احیا در جنگل‌های خزری

سید جلیل علوی[1*]، کورش احمدی[2]، سید محسن حسینی[3]، مسعود طبری[3]، زهرا نوری[4]

[1] استادیار، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
[2] دانشجوی دکتری جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
[3] استاد، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
[4] دانش‌آموختهٔ دکتری جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۴)

چکیده

گونهٔ سرخدار از گونه‌های بومی و ارزشمند جنگل‌های هیرکانی است و براساس مطالعات اخیر، حضور این گونه در حال کاهش است؛ از این‌رو حفظ و احیای این گونهٔ باارزش ضرورت دارد. یکی از راهکارهای حفاظت و احیای گونه‌های باارزش، شناسایی رویشگاه‌های بالقوهٔ آن و اولویت‌بندی مناطق دارای پتانسیل حضور گونه با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای است. این پژوهش با هدف اولویت‌بندی رویشگاه‌های مطلوب برای حفاظت و احیای سرخدار در جنگل‌های خزری انجام گرفت. در این پژوهش از الگوریتم درخت رگرسیون تقویت‌شده به‌منظور مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار در ارتباط با متغیرهای اقلیمی، خاکی و توپوگرافی و شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش سرخدار استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ساخته‌شده با متغیرهای زیست‌اقلیمی از نظر معیارهای ارزیابی مدل با میانگین TSS و AUC ۰/۸۳ و ۰/۹۷ نسبت به مدل‌های ساخته‌شده با متغیرهای خاک و توپوگرافی، عملکرد بهتری برای پیش‌بینی پراکنش مکانی گونهٔ سرخدار داشت. همچنین از بین متغیرهای زیست‌اقلیمی، میانگین دما در خشک‌ترین فصل سال و بارندگی در گرم‌ترین فصل سال، بیشترین تأثیر را در پراکنش گونهٔ سرخدار داشته‌اند. متغیرهای کربن آلی خاک، درصد شن، ظرفیت تبادل کاتیونی، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب نیز از دیگر عوامل مهم تأثیرگذار در پراکنش گونهٔ سرخدار بود. در پایان با ترکیب نقشه‌های پتانسیل حضور گونهٔ به‌دست‌آمده از مدل‌های ساخته‌شده با متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی و خاکی نقشهٔ اولویت‌بندی حفاظت و احیای سرخدار تهیه شد که در برنامه‌ریزی برای بازسازی و احیای این گونه در جنگل‌های هیرکانی بسیار باارزش است.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های هیرکانی، حفاظت، سرخدار، مدل پراکنش گونه.

مقدمه و هدف

مدل‌های پراکنش گونه‌ای[1] (SDM) ابزاری آماری هستند که حضور گونه‌ها را به شرایط محیطی زندگی گونه‌ها (آشیان اکولوژیک) مرتبط می‌سازند. این مدل‌ها در دامنهٔ گسترده‌ای از علوم طبیعی همچون پیش‌بینی پراکنش آیندهٔ گونه‌ها در شرایط تغییر

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۱۵۸۰۰۹۷
ایمیل: j.alavi@modares.ac.ir

1 Species Distribution Models

اقلیم، برنامه‌ریزی حفاظت، تخمین خطر گونه‌های مهاجم و شناسایی زیستگاه مناسب آینده استفاده می‌شوند (Guisan et al., 2013). علی‌رغم دامنهٔ وسیعی از کمبودهای شناخته‌شده، استفاده از آنها به‌طور گسترده‌ای پذیرفته شده است تا تصویری از تغییرات اقلیمی را نشان دهد، به‌خصوص اگر اطلاعات دقیق‌تر دربارهٔ بوم‌شناسی و فیزیولوژی گونه‌ها موجود نباشد. افزون‌بر کاربرد زیاد این مدل‌ها در سال‌های اخیر، مسائلی مانند روش‌های مدل‌سازی، انتخاب مدل مناسب و ارزیابی مدل، خودهمبستگی مکانی بین مشاهدات و مهم‌تر از همه انتخاب متغیرهای پیشگو در مدل‌سازی مورد توجه قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مدل‌های پراکنش گونه‌ای به‌طور آماری، متغیرهای محیطی را به حضور و نبود (یا فقط حضور) یک گونه برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها مرتبط می‌سازد، انتخاب مناسب‌ترین مجموعهٔ متغیرهای محیطی به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده ضروری است.

در بسیاری از تحقیقات در جهان، پاسخ اکولوژیکی و پراکنش گونه‌های گیاهی تنها با توجه به عوامل اقلیمی بررسی شده است. در این مطالعات فرض می‌شود که مهم‌ترین عامل پراکنش گونه‌ها در مقیاس‌های بزرگ، متغیرهای اقلیمی و زیست‌اقلیمی است (Lehmann et al., 2002). در حقیقت، با توسعهٔ سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دسترسی به داده‌های اقلیمی از سنجش ایستگاه‌های هواشناسی تسهیل شده است که دلیل اصلی استفاده از داده‌های اقلیمی در مطالعات پراکنش گونه‌ای است. با این‌حال، عوامل خاک نیز برای گونه‌های گیاهی اهمیت دارند، اگرچه اغلب آنها را نادیده می‌گیرند، زیرا اطلاعات دقیقی از این متغیرها در دسترس نیست و در نتیجه، مطالعهٔ همزمان پاسخ واکنش گونه‌های گیاهی به عوامل خاکی به‌ندرت انجام می‌گیرد. Carter et al. (2015) نشان دادند که استفاده از نقشه‌های زیست‌اقلیمی به‌تنهایی برای بهبود پیش‌بینی مدل‌های پراکنش گونه‌ای کافی نیست و برای کارایی بیشتر، متغیرهای محیطی به‌خصوص خاک، می‌تواند دقت مدل‌های پراکنش گونه‌های گیاهی را افزایش دهد. متغیرهای منعکس‌کنندهٔ توپوگرافی منطقهٔ تحقیق، اغلب در مدل‌های پراکنش گیاهی گنجانده می‌شود. استفاده از این متغیرها به‌منظور بهبود مدل‌های پراکنش گونه‌ای ثابت شده است (Sormunen et al., 2011)، اما تفسیر تأثیر واقعی این متغیرها بر پراکنش گونه‌های گیاهی می‌تواند مشکل باشد. هرچند متغیرهای توپوگرافی بر پراکنش گونه‌های گیاهی به‌صورت مستقیم تأثیر نمی‌گذارند، اما نور، رطوبت، دما و شرایط مواد مغذی را تغییر می‌دهند (Moeslund et al., 2013). توپوگرافی در مقیاس کوچک بر میکروکلیما، نور در دسترس برای گیاهان، رطوبت و مواد مغذی خاک و در مقیاس بزرگ بر درجهٔ حرارت و بارش تأثیرگذار است (Dobrowski, 2011). تا به امروز، تنها در تحقیقات اندکی افزون‌بر متغیرهای زیست‌اقلیمی از متغیرهای خاکی و توپوگرافی همزمان استفاده شده است؛ زیرا افزون‌بر اهمیت دقت زیاد در مدل‌سازی، مسئلهٔ سادگی و تفسیر مدل‌ها بسیار اهمیت دارد. با وجود اهمیت متغیرهای توپوگرافی و خاکی و شواهدی مبنی بر اینکه مدل‌سازی آن‌ها سبب بهبود دقت می‌شود (Mod et al., 2016)، ترکیب عوامل خاک و توپوگرافی در مطالعات پراکنش گونه‌های گیاهی می‌تواند درک ما را از تأثیر اقلیم به‌عنوان تنها عامل مشخص‌کنندهٔ پراکنش گونه‌های گیاهی تغییر دهد (Bertrand et al., 2012). در زمینهٔ مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی با استفاده از متغیرهای خاکی، توپوگرافی و اقلیمی تحقیقات زیادی صورت گرفته است (Sormunen et al., 2011; Moeslund et al., 2013; Hidalgo et al., 2008; Alavi et al., 2019).

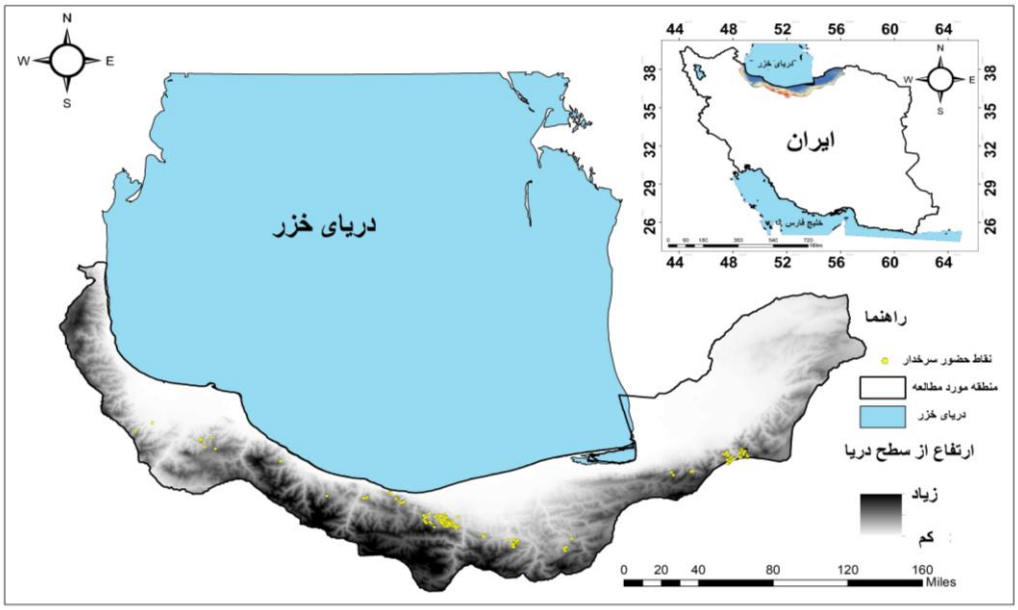
شواهد نشان می‌دهد حضور سرخدار (*Taxus baccata* L.) به‌طور گسترده در جهان در حال کاهش است و احتمال انقراض این گونه بسیار زیاد است (Thomas & Garcia-Marti, 2015). این گونه در طبیعت توانایی احیای اندکی دارد، زیرا تحت

تأثیر عوامل بازدارنده‌ای مانند یخبندان‌های زمستانی، چرای گیاه‌خواران و بذرخواران قرار دارد. دلایل زیادی سبب از بین رفتن گونهٔ سرخدار از گذشته تاکنون بوده است که ازجمله می‌توان به جنگل‌زدایی، رقابت نوری، قطع عمدی به‌منظور استفاده از چوب و چرا توسط گیاه‌خواران اشاره کرد. با در نظر گرفتن همهٔ این موارد و در معرض خطر بودن این درخت، اهمیت زیاد شناخت مناطق دارای پتانسیل این گونه مشخص می‌شود. به این منظور این پژوهش در راستای اهداف زیر صورت گرفت: الف) مدل‌سازی پراکنش سرخدار با استفاده از سه مجموعه دادهٔ اقلیمی، توپوگرافی و خاکی؛ ب) شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونهٔ سرخدار در هر مجموعه از داده‌ها؛ ج) ادغام نقشه‌های مطلوبیت رویشگاه گونهٔ سرخدار برای هر کدام از مدل‌ها و تهیهٔ نقشهٔ اولویت‌بندی حفاظت و احیای این گونه در شمال ایران با در نظر گرفتن همهٔ عوامل تأثیرگذار.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

برای اجرای پژوهش حاضر، مناطق حضور گونهٔ سرخدار در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران (استان‌های مازندران، گیلان و گلستان) شناسایی شد. در مرحلهٔ بعد، گونهٔ سرخدار در این مناطق آماربرداری شد و مختصات جغرافیایی آنها نیز با سامانهٔ موقعیت‌یاب جهانی ثبت شد. افزون‌بر این، از داده‌های آماربرداری‌شده و نقشهٔ تیپ‌بندی جنگل در کتابچهٔ طرح‌های جنگلداری تهیه‌شده در سال‌های مختلف توسط ادارات منابع طبیعی نیز برای تعیین مناطق حضور سرخدار استفاده شد. در مجموع ۱۵۷۵ نقطهٔ حضور سرخدار در جنگل‌های هیرکانی ثبت شد و مدل‌سازی انجام گرفت. شکل ۱ پراکنش سرخدار را در جنگل‌های شمال ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- پراکنش سرخدار در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران

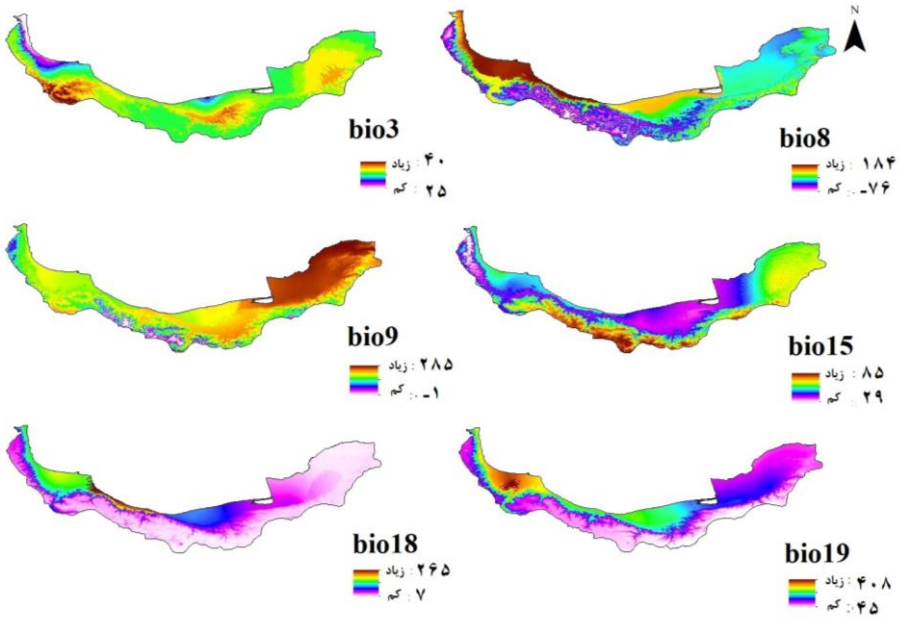
متغیرهای زیست‌اقلیمی، توپوگرافی و خاک

به‌منظور بررسی مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار نقشهٔ متغیرهای اقلیمی (۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی) تهیه شد. متغیرهای زیست‌اقلیمی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی‌اند که از مقادیر دما و بارش ماهیانه استخراج می‌شوند و معنی‌داری زیستی

بیشتری، نسبت به متغیرهای اقلیمی دارند. مطابق جدول ۱، نوزده متغیر زیست‌اقلیمی برای شرایط اقلیمی فعلی از پایگاه داده‌های Worldclim (Fick and Hijmans, 2017) به‌دست آمد و پس از بررسی هم‌خطی چندگانه با استفاده از شش متغیر مدل‌سازی انجام گرفت (شکل ۲).

جدول ۱- متغیرهای زیست‌اقلیمی استفاده‌شده در تحقیق حاضر

نام اختصاری	متغیر زیست‌اقلیمی	نام اختصاری	متغیر زیست‌اقلیمی
BIO_1	میانگین دمای سالانه	BIO_{11}	میانگین دما در سردترین فصل سال
BIO_2	میانگین دامنهٔ دمای روزانه	BIO_{12}	مجموع بارندگی سالانه
BIO_3	ایزوترمالیتی یا هم‌دمایی	BIO_{13}	بارندگی در مرطوب‌ترین ماه سال
BIO_4	تغییرات فصلی دما	BIO_{14}	بارندگی در خشک‌ترین ماه سال
BIO_5	حداکثر دما در گرم‌ترین ماه	BIO_{15}	تغییرات بارندگی فصلی
BIO_6	حداقل دما در سردترین ماه	BIO_{16}	بارندگی در مرطوب‌ترین فصل سال
BIO_7	تغییرات دمای سالانه	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		

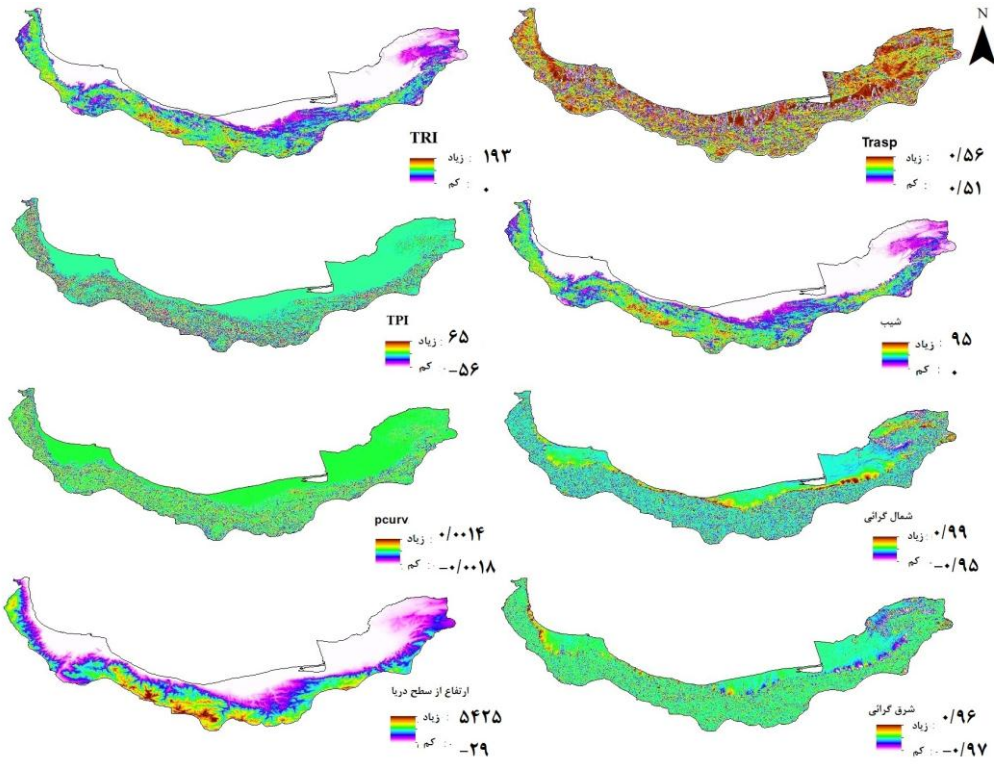


شکل ۲- متغیرهای زیست‌اقلیمی استفاده‌شده در مدل‌سازی در منطقهٔ تحقیق

از مدل رقومی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر برای تولید نقشه‌های درصد شیب و جهت جغرافیایی در نرم‌افزار QGIS 3.6 استفاده شد. جهت جغرافیایی با استفاده از رابطهٔ زیر به شاخص تابش خورشیدی[1] (TRASP) تبدیل شد که در آن θ مقدار

1. Radiation Index

آزیموت جهت برحسب درجه است. مقدار شاخص تابش خورشیدی بین صفر و ۱ است و جهت شمال و شمال شرقی دارای مقدار صفر (خنک‌ترین دامنه) و جهت جنوب و جنوب غربی دارای مقدار ۱ (گرم‌ترین دامنه) است. به‌منظور آماده‌سازی متغیرهای ثانویه توپوگرافی (شرق‌گرایی، شمال‌گرایی، شاخص انحنای توپوگرافی، شاخص وضعیت توپوگرافی) نیز از نرم‌افزار SAGA استفاده شد(شکل ۳).



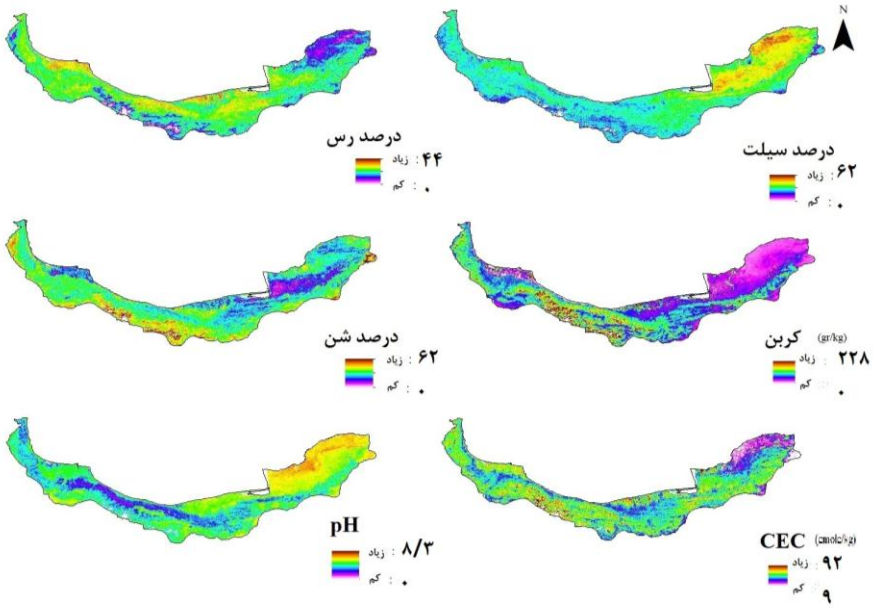
شکل ۳- متغیرهای توپوگرافی در منطقهٔ تحقیق

(TRI: شاخص زبری توپوگرافی، TPI: شاخص موقعیت توپوگرافی، pcurv: انحنای سطحی، TRASP: شاخص تابش خورشیدی)

متغیرهای خاکی استفاده‌شده در این پژوهش از داده‌های جهانی SoilGrids با دقت ۲۵۰ متر استخراج شد (شکل ۴).

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای سرخدار

به‌منظور مدل‌سازی پراکنش سرخدار نسبت به مجموعه داده‌های اقلیمی، توپوگرافی و خاکی از مدل BRT (درخت رگرسیون تقویت‌شده) استفاده شد. BRT ترکیبی از روش‌های آماری و یادگیری ماشین است. این مدل با استفاده از ترکیب مدل‌های متعدد به بهبود عملکرد تک‌مدل کمک می‌کند. BRT از ترکیب دو الگوریتم استفاده می‌کند: مدل رگرسیونی CART و ساخت و ترکیب مجموعه‌ای از مدل‌ها (Boosting) (Elith et al., 2008). Boosting الگوریتم کارامد و ساده‌ای برای افزایش دقت مدل است و بر این اساس کار می‌کند که ساخت، ترکیب و میانگین‌گیری تعداد زیادی مدل بهتر و دقیق‌تر از ایجاد یک مدل است. Boosting بر بزرگ‌ترین ضعف تک‌درخت تصمیم که برازش به‌نسبت ضعیف است غلبه می‌کند. در BRT تنها اولین درخت از کل داده‌های آموزشی ساخته می‌شود و درخت‌های بعدی روی داده‌های باقی‌مانده از درخت قبل از خود رشد داده می‌شوند. درخت‌ها روی همهٔ داده‌ها ساخته نمی‌شوند و فقط از زیرمجموعه‌ای از داده‌ها استفاده می‌کنند.



شکل ۴. متغیرهای خاکی در منطقهٔ تحقیق (CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی)

در برازش BRT، پارامترهای تأثیرگذار، نرخ یادگیری[1]، پیچیدگی درخت[2]، میزان bagging، حداقل تعداد مشاهدات در گره‌های پایانی و تعداد درخت‌ها هستند. نرخ یادگیری برای کوچک شدن سهم هر درخت اضافه‌شده به مدل به‌کار گرفته می‌شود. نرخ یادگیری بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند که به‌طور معمول بین ۰/۱ تا ۰/۰۰۱ تغییر می‌کند. کاهش نرخ یادگیری تعداد درختان مورد نیاز را افزایش می‌دهد و سبب بهبود در خطای پیش‌بینی می‌شود. به طور کلی نرخ یادگیری کمتر مطلوب است، مشروط بر اینکه تعداد مشاهدات و زمان لازم برای محاسبه موجود باشد. Bagging در هر تکرار تعدادی از داده‌ها را بدون جایگزینی از مجموعه کامل آموزشی به‌طور تصادفی انتخاب می‌کند. حد مطلوب Bagging، ۰/۵ تا ۰/۷۵ است (Elith et al., 2008). یکی از معیارهای توقف درخت‌ها مقدار مشاهدات در گره برگ است. در نهایت، با ترکیب پارامترهای بالا و استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل، تعداد کل درختان در مدل نهایی تعیین می‌شود. بهترین عملکرد BRT زمانی است که تعداد درختان بیش‌تر از ۱۰۰۰ باشد (Elith et al., 2008). مزایای استفاده از درختان رگرسیون تقویت‌شده عبارت است از: الف) کنترل انواع مختلف متغیرهای پیش‌بینی‌کننده؛ ب) اصلاح داده‌های ازدست‌رفته[3]؛ ج) بی‌نیازی به تبدیل داده‌ها یا حذف نقاط دورافتاده[4]؛ د) برازش روابط پیچیدهٔ غیرخطی و کنترل خودکار اثر متقابل بین متغیرها (Elith et al., 2008).

ارزیابی مدل

برای ارزیابی قابلیت پیش‌بینی مدل از سه تکرار دسته‌بندی تصادفی و سه داده شبه‌غیاب مختلف برای هریک از سه مدل پراکنش گونه‌ای برازش داده شده استفاده شد. در هر تقسیم تصادفی از ۷۰ درصد داده‌ها برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی آن استفاده شد. برای ارزیابی کارایی مدل از مقدار سطح زیرمنحنی[5] (AUC) در تحلیل ویژگی

1 Learning rate
2 Tree complexity
3 Missing Data
4 Outliers
5 Area under curve

عملیاتی پذیرنده[1] (ROC) استفاده شد. مقدار AUC نشان می‌دهد که چگونه یک مدل به‌خوبی بین محل حضور گونه‌ها و غیاب آنها تمایز قائل می‌شود. AUC با مقدار ۰/۵ نشان می‌دهد که یک کارایی تمایز مدل به‌صورت تصادفی است، درحالی که مقدار ۱ بیان‌کنندهٔ توانایی تمایز کامل مدل است. مدل با مقدار AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ 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 (Phillips et al., 2009). AUC به‌طور گسترده برای ارزیابی مدل‌های پراکنش گونه‌ای استفاده می‌شود، اما قابلیت اطمینان AUC به‌عنوان تنها شاخص ارزیابی مدل در سال‌های اخیر با چالش مواجه شده است؛ بنابراین، افزون‌بر این شاخص، آمار واقعی مهارت مرتبط با آستانه (TSS) محاسبه شد که همانند آمار کاپا گسترده است، اما کمتر به پراکنش گونه‌های مدل وابسته شده است (Allouche et al., 2006). این آماره به‌صورت TSS= sensitivity + specificity − 1 تعریف می‌شود که حساسیت نسبت به مقادیر مشاهده شده است (Allouche et al., 2006). می‌توان ارزش TSS کمتر از ۰/۲ را ضعیف، ۰/۲ تا ۰/۶ را متوسط و بزرگ‌تر از ۰/۶ را خوب در نظر گرفت (Allouche et al., 2006). به‌منظور محاسبهٔ TSS، نقشهٔ مطلوبیت رویشگاه باید به‌صورت حضور و غیاب تبدیل شود و نکتهٔ مهم مشخص کردن حد آستانهٔ مقدار TSS است که در این پژوهش ۰/۵ در نظر گرفته شد. همهٔ مراحل مدل‌سازی، ارزیابی و تهیهٔ نقشهٔ مطلوبیت رویشگاه سرخدار با استفاده از نرم‌افزار آماری R (R Core Team 2018) و بسته‌های raster (Hijmans et al. 2015) و biomod2 (Thuiller et al. 2009) انجام گرفت.

نتایج

مدل‌سازی پراکنش سرخدار با متغیرهای اقلیمی

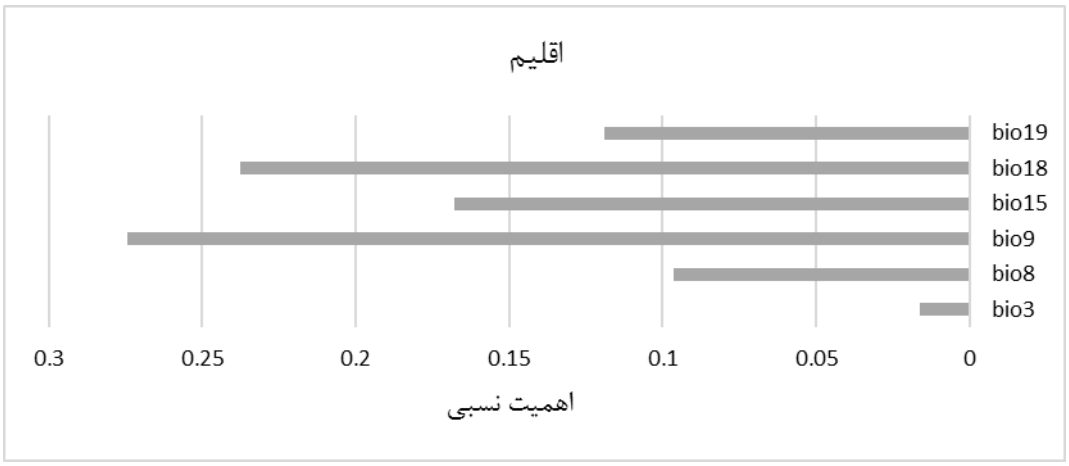
ارزیابی عملکرد مدل BRT در تحقیق حاضر در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونهٔ سرخدار با استفاده از معیارهای ROC و TSS نشان داد که صحت پیش‌بینی پراکنش گونهٔ سرخدار برای هر سه مجموعه داده‌های اقلیمی، توپوگرافی و خاکی قابل قبول بوده است (جدول ۲). مقایسهٔ مقادیر هر یک از معیارهای ارزیابی مدل، به‌منظور تعیین تأثیرگذارترین عامل بر پراکنش فعلی سرخدار در شمال ایران نشان داد که مدل BRT ساخته‌شده با متغیرهای زیست‌اقلیمی از نظر معیارهای ارزیابی مدل با میانگین TSS و ROC معادل ۰/۸۳ و ۰/۹۷ نسبت به مدل‌های ساخته‌شده با متغیرهای خاکی و توپوگرافی، عملکرد بهتری برای پیش‌بینی پراکنش مکانی گونهٔ سرخدار داشت (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر AUC و TSS حاصل از مدل‌سازی پراکنش سرخدار با سه مجموعه دادهٔ خاکی، توپوگرافی و اقلیمی

متغیر	معیار	تکرار										
		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	میانگین	SD
اقلیم	TSS	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۰۲
	AUC	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۰۱
خاک	TSS	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۰۳
	AUC	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۰۱
توپوگرافی	TSS	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۰۴
	AUC	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۰۱

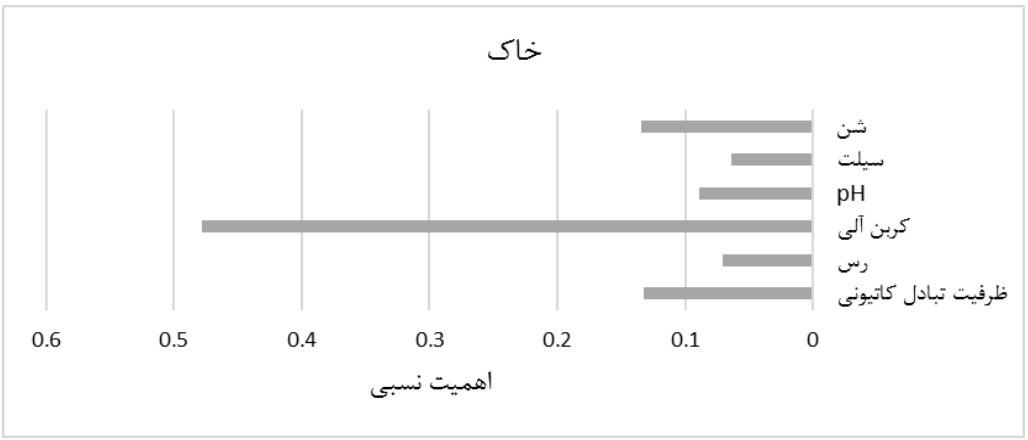
1 Receiver operating characteristic curve

شکل ۵ اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار در شمال ایران را نشان می‌دهد. براساس این نتایج، متغیرهای میانگین دما در خشک‌ترین فصل سال و بارندگی در گرم‌ترین فصل سال بیشترین تأثیر را در پراکنش گونهٔ سرخدار داشته‌اند. همچنین پراکنش این گونه کمتر تحت تأثیر متغیرهای هم‌دمایی[1] (bio3) و میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل سال (bio8) بوده است.



شکل ۵- اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی در مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار در شمال ایران

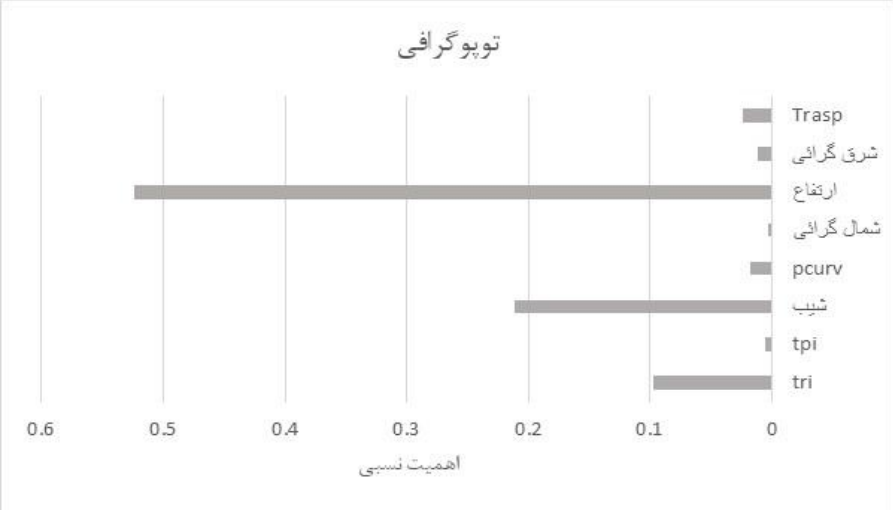
شکل ۶ اهمیت نسبی متغیرهای خاکی در مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار در شمال ایران را نشان می‌دهد. براساس این نتایج، متغیرهای کربن آلی خاک، درصد شن و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشترین تأثیر و درصد رس، سیلت و pH کمترین تأثیر را در پراکنش گونهٔ سرخدار داشتند.



شکل ۶. اهمیت نسبی متغیرهای خاکی در مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار در شمال ایران

شکل ۷ اهمیت نسبی متغیرهای توپوگرافی در مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار در شمال ایران را نشان می‌دهد. براساس این نتایج متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب بیشترین تأثیر را در پراکنش گونهٔ سرخدار داشته‌اند و پراکنش این گونه کمتر تحت تأثیر متغیرهای ثانویه توپوگرافی بوده است.

1 Isothermality



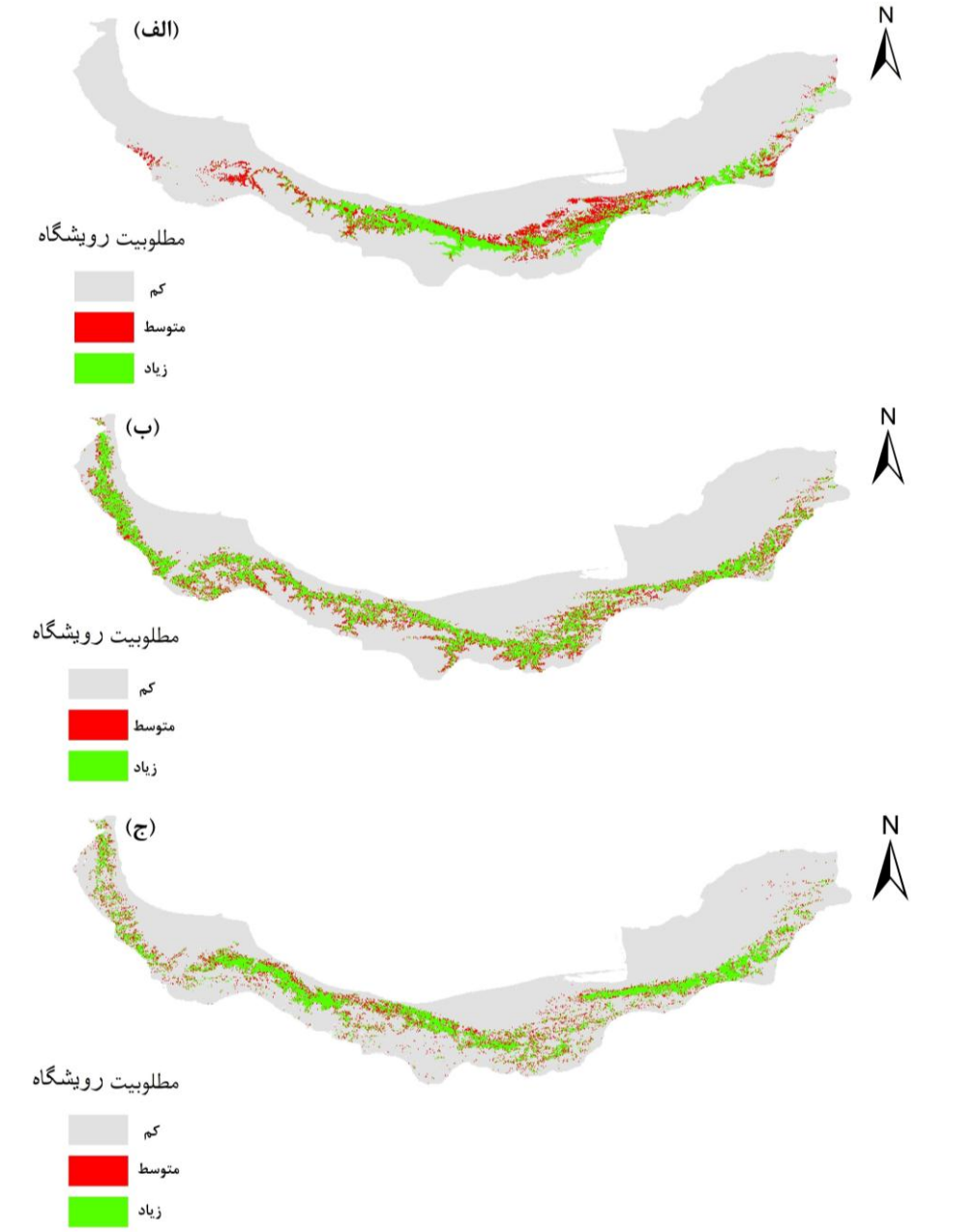
شکل ۷. اهمیت نسبی متغیرهای توپوگرافی در مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار در شمال ایران

پس از مدل‌سازی پراکنش گونهٔ سرخدار با سه مجموعه دادهٔ اقلیمی، توپوگرافی و خاکی و شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش این گونه، نقشهٔ مطلوبیت رویشگاه تهیه و در سه طبقهٔ مطلوبیت کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی شد. شکل ۸ نقشهٔ مطلوبیت رویشگاه سرخدار براساس متغیرهای اقلیمی (الف)، توپوگرافی (ب) و خاکی (ج) در شمال ایران را نشان می‌دهد. جدول ۳ درصد کلاسه‌های مطلوبیت گونهٔ سرخدار را برای جنگل‌های شمال ایران نشان می‌دهد.

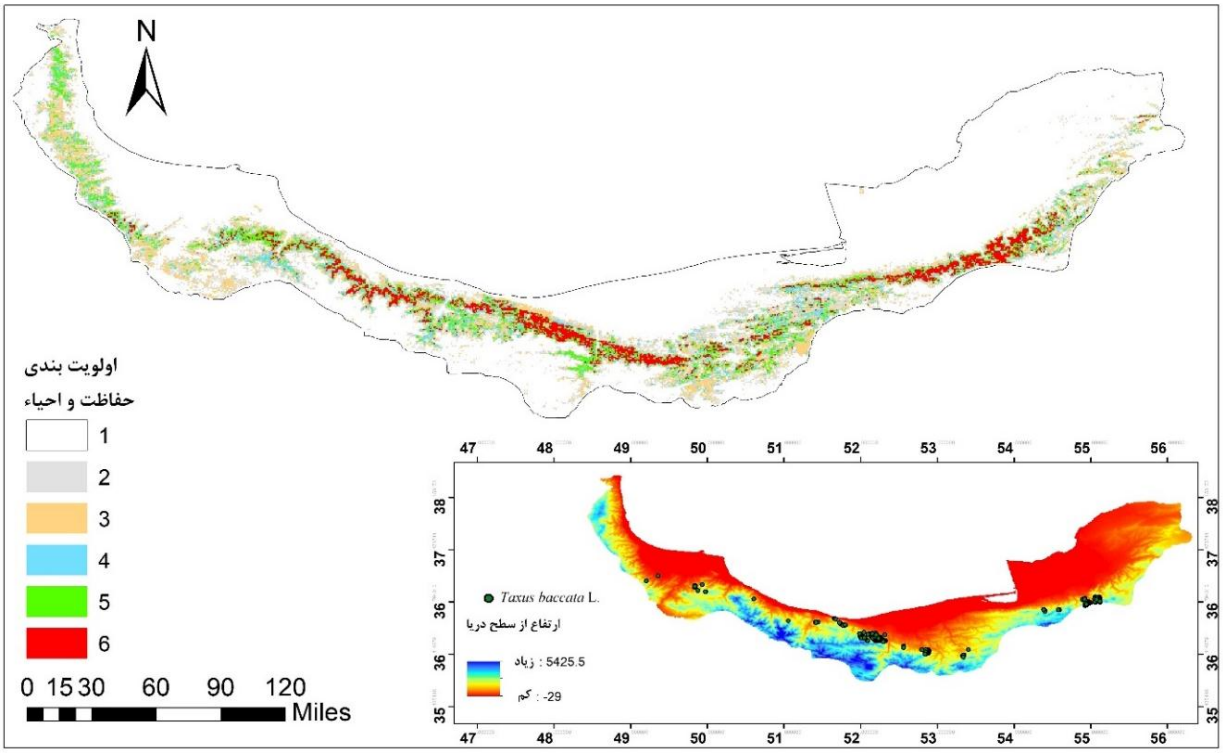
جدول ۳. درصد کلاسه‌های مطلوبیت کم، متوسط و زیاد در مدل‌های خاکی، اقلیمی و توپوگرافی

	مدل		
مطلوبیت رویشگاه	اقلیم	خاک	توپوگرافی
کم	۸۵/۲۶	۸۱/۷۹	۷۷/۸۰
متوسط	۶/۲۵	۶/۱۷	۸/۲۰
زیاد	۸/۴۹	۱۲/۰۴	۱۴/۰۰

براساس مدل‌سازی با متغیرهای اقلیمی سرخدار بیشترین مطلوبیت رویشگاه را در استان‌های مازندران و گلستان داراست. با توجه به نقشهٔ مطلوبیت رویشگاه سرخدار در مدل‌های خاکی و توپوگرافی پتانسیل حضور این گونه در هر سه استان شمال کشور وجود دارد. پس از تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل حضور سرخدار براساس سه مجموعه دادهٔ اقلیمی، توپوگرافی و خاکی، نقشهٔ اولویت‌بندی حفاظت این گونه با ترکیب هر سه مدل انجام گرفت. به این منظور نقاطی که دارای مطلوبیت کم در هر سه مدل مختلف بودند کمترین ارزش را داشتند و در اولویت آخر قرار گرفتند و نقاطی که در هر سه نقشهٔ مطلوبیت اقلیمی، خاکی و توپوگرافی دارای پتانسیل زیاد بودند در اولویت اول حفاظت و احیا قرار گرفتند. بدین ترتیب نقشهٔ ترکیبی باارزش نقاط بین ۱ تا ۶ طبقه‌بندی شد که طبقهٔ اول کمترین اولویت حفاظت و احیا و نقاط دارای ارزش ۶ بیشترین اولویت حفاظت را دارند (شکل ۹).



شکل ۸. نقشهٔ مطلوبیت رویشگاه سرخدار براساس متغیرهای اقلیمی (الف)، توپوگرافی (ب) و خاکی (ج) در شمال ایران



شکل ۹. نقشهٔ اولویت‌بندی حفاظت و احیای گونهٔ سرخدار براساس ترکیب مدل‌های اقلیمی، خاکی و توپوگرافی (مناطق دارای مقدار ۱ کمترین اهمیت و مقدار ۶ بیشترین اهمیت را دارند)

بحث

در پژوهش حاضر اهمیت متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی و خاکی در پراکنش گونه در معرض خطر سرخدار در جنگل‌های شمال ایران با استفاده از مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده بررسی شد. نتایج معیارهای ارزیابی مدل نشان داد که متغیرهای اقلیمی، نقش مهم‌تری در پراکنش این گونه در سه استان مازندران، گلستان و گیلان دارند و کمترین اهمیت را در بین مجموعهٔ داده‌ها، متغیرهای خاکی دارا هستند. براساس این نتایج، متغیرهای میانگین دما در خشک‌ترین فصل سال و بارندگی در گرم‌ترین فصل سال بیشترین تأثیر را در پراکنش گونهٔ سرخدار داشته‌اند. همچنین در بین مجموعه متغیرهای توپوگرافی ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب، و از متغیرهای خاکی، کربن آلی خاک، درصد شن و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشترین تأثیر را در پراکنش سرخدار داشتند. در نهایت با ترکیب نقشهٔ مطلوبیت به‌دست‌آمده از هر سه مدل، نقشهٔ اولویت‌بندی حفاظتی و احیای گونهٔ سرخدار براساس پراکنش فعلی این گونه به‌دست آمد. با توجه به نقشهٔ اولویت‌بندی حفاظت و احیای گونهٔ سرخدار، بیشترین اولویت مربوط به استان‌های مازندران و گلستان است.

میانگین دما در خشک‌ترین فصل سال و بارندگی در گرم‌ترین فصل سال از مهم‌ترین متغیرهای این پژوهش بوده‌اند. در زمینهٔ پراکنش سرخدار نسبت به متغیرهای زیست‌اقلیمی مرتبط با دما باید گفت رشد و نمو گیاهان تابع دمای مشخصی است. بی‌تردید برای رشد و نمو هر گیاه یا هر درخت یک دمای بهینه وجود دارد. نکتهٔ شایان توجه در خصوص دما این است که مقدار متوسط دمای یک منطقه، گویای وضعیت دمایی آن منطقه نیست، بلکه تغییرات و نوسانات حرارتی عامل مؤثر در زمینهٔ رشد گیاهان

است (Marvie Mohadjer, 2005). نوسانات دمایی به نوع اقلیم منطقه بستگی دارد. در مناطق با اقلیم بری و زمینی نوسانات حرارتی به‌مراتب بیشتر از مناطق با اقلیم دریایی است (Marvie Mohadjer, 2005). با توجه به اینکه سرخدار منطبق بر آب‌وهوای بحری است، چنین دستاوردی دور از انتظار نیست و به‌نوعی تأییدکنندهٔ حضور بیشتر سرخدار در مناطقی با اقلیم بحری است (Alavi et al., 2019). سرخدار گونه‌ای است مقاوم به گرما و سرما، به‌طوری‌که در فصل زمستان حتی می‌تواند دماهای کمتر از ۲۵- درجهٔ سانتی‌گراد را نیز تحمل کند (Beckett & Beckett, 1979). دماهای بسیار زیاد به درختان و نونهال‌ها صدمه می‌زند و آنها را برای حملهٔ حشرات و قارچ‌ها آماده می‌سازد. در نتیجهٔ نوسانات دمایی، صدمات ناشی از کاهش دما یعنی سرما به‌مراتب بیشتر از زیان‌های دمای زیاد است. دمای زیاد بیشتر به گونه‌های سایه‌پسند و نونهال‌ها صدمه می‌زند، در صورتی که سرما می‌تواند درختان جنگلی را در همهٔ مراحل سنی از بین ببرد یا به آنان زیان وارد کند. نتایج تحقیق Benham et al. (2016) نشان داد که گونهٔ سرخدار در اقلیم‌های بحری و دماهای متوسط دارای بهترین رشد است. نکتهٔ شایان توجه در خصوص پراکنش این گونه در اروپا دربارهٔ دما این است که در شمال اروپا (بریتانیا، ایرلند و اسکاندیناوی جنوبی)، دماهای کم و در قسمت‌های جنوبی، خشکی و دماهای زیاد عوامل محدودکنندهٔ پراکنش سرخدار هستند.

مدل‌سازی پراکنش سرخدار نسبت به متغیرهای زیست‌اقلیمی مرتبط با بارندگی مطالعه نشان داد که بارندگی در گرم‌ترین فصل سال عامل مهمی در پراکنش گونهٔ سرخدار است. Thomas & Garcia-Marti (2015) بیان می‌کنند که گونهٔ سرخدار در شرایط بارش و رطوبت زیاد دارای بهترین عملکرد است. در انگلستان، ۸۰ درصد جنگل‌های سرخدار در مناطقی مشاهده می‌شود که حداکثر بارش بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال است، هرچند در انتهای جنوبی پراکنش سرخدار در اروپا که بارندگی به ۵۶۹ میلی‌متر در سال (کوه استراتونیکو، یونان)، ۵۶۴ میلی‌متر در سال (پارک طبیعی چرا در اسپانیا) و ۵۱۸ میلی‌متر در سال (منطقه پدرو آندره، اسپانیا) است گونهٔ سرخدار به‌صورت جمعیت‌های کوچک، تنها در مناطقی پراکنش دارد که از تبخیر تعرق زیاد توسط توپوگرافی یا اشکوب فوقانی متراکم در امان باشد (Katsavou & Ganatsas, 2012). نتایج تحقیق Esmailzadeh et al. (2007) نشان داد که دامنه‌های غربی ذخیره‌گاه سرخدار افراتخته به‌علت قرار گرفتن در شیب‌های تندتر و نیز بهره‌مندی بیشتر از انرژی خورشیدی (مانند دامنه‌های جنوبی) و در نتیجه تبخیر و تعرق بیشتر، دارای شرایط سخت رویشی است، بنابراین درختان سرخدار با تراکم کمتری در آنجا حضور می‌یابند. با توجه به اینکه رویشگاه‌های شرق هیرکانی بارش کمتر و خشکی بیشتری دارند و احتمال حضور گونهٔ سرخدار در این مناطق بیشتر است، نتایج تحقیق حاضر تأییدکنندهٔ بردبار بودن سرخدار به خشکی است.

بارز بودن تأثیر و نقش خصوصیات توپوگرافی در این پژوهش و پژوهش‌های Claessens et al. (2006) و Hidalgo et al. (2008) بیانگر اهمیت این خصوصیات در مدل‌سازی پراکنش مکانی پوشش گیاهی و مشخصه‌های کمّی جنگل است که در این میان برخی از خصوصیات با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه، تأثیر بیشتر و برخی تأثیر کمتری دارند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که متغیر ارتفاع از سطح دریا بیشترین تأثیر را بر حضور سرخدار دارد. پراکنش گونه‌ها در طول گرادیان ارتفاعی، توسط عوامل متعددی از جمله عوامل اقلیمی و اثرهای متقابل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌علاوه ارتفاع یک گرادیان پیچیده را نشان می‌دهد که در طول آن متغیرهای محیطی زیادی همزمان تغییر می‌کند. فاکتور ارتفاع از سطح دریا با تأثیر بر دما و رطوبت، همواره در تحقیقات زیادی در مناطق رویشی مختلف

از عامل‌های مهم و تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌ها معرفی شده است. سرخدار در جنگل‌های شمال کشور در ارتفاعات میان‌بند دارای بیشترین حضور است (Alavi et al., 2019) که نشان‌دهندهٔ شرایط بهینه در این ارتفاعات است. سرخدار گونه‌ای است که به رطوبت زیاد هوا و محیط خنک نیازمند است که در ارتفاعات پایین به‌دلیل گرم‌تر بودن و رطوبت کمتر شرایط مناسب برای حضور سرخدار وجود ندارد (Alavi et al., 2019). حضور کم سرخدار در ارتفاعات بالا ممکن است تا حدی به‌دلیل تغییرات اکولوژیک نظیر کاهش دما، تغییر نوع و مقدار بارندگی، ازدیاد باد و برف و بوران، کوتاه شدن دورهٔ رویش گیاهی و کاهش رویش درختان باشد. عامل مهم دیگری که پراکنش سرخدار را در شمال ایران توجیه می‌کند، شیب دامنه است. پژوهش Esmailzadeh et al. (2007) نشان می‌دهد که رویشگاه‌های سرخدار مازندران روی شیب‌های تند قرار دارند. تحقیقات Dahr et al. (2007) و Iszkuleo et al. (2012) در نقاط مختلف جهان نیز نشان داد که بیشتر رویشگاه‌های خارج از ایران هم روی شیب‌های متوسط تا زیاد استقرار یافته‌اند. ذکر این نکته ضروری است که سرخدار برخلاف آنچه در بین عوام شایع شده، رویشگاه‌های کم‌عمق و سنگلاخی و صخره‌ای را ترجیح نمی‌دهد، بلکه خواهان بستری با خاک عمیق و شیب اندک یا ملایم است (Alavi et al., 2019). به‌نظر می‌رسد به دلایل مختلف مانند رقابت برای رطوبت خاک با گونه‌های دیگر جنگلی، سرخدار به مناطق صعب‌العبور برای جلوگیری از سرچر و لگدمال شدن و شیب‌های تند به‌علت استقرار نیافتن گونه‌های دیگر و نیاز کم خاکی استقرار یافته است. از طرف دیگر، قدرت سازش و سازگاری در محیط های صخره‌ای و سنگی یکی دیگر از توانمندی‌های این گونه است که موجب استقرار این گونه در این مناطق شده است.

بسیاری از محققان استفادهٔ مستقیم از متغیرهای خاکی را در مطالعات اکولوژی گیاهی و مدل‌های پراکنش گیاهی پیشنهاد داده‌اند، اما در عمل، چنین متغیرهایی به‌ندرت در مدل‌ها ادغام شده‌اند، زیرا دسترسی متغیرهای شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از خاک و تجزیه‌وتحلیل آن بسیار پرهزینه است. در عوض، در اروپا، خصوصیات خاک‌های توده‌ای اغلب با فهرست گونه‌ها و مقادیر شاخص‌های مرتبط با النبرگ محاسبه می‌شود که ارزیابی عددی پاسخ گونه‌ها به شرایط محیطی را نشان می‌دهد. Hageer et al. (2017) نشان دادند که توانایی پیش‌بینی مدل‌های پراکنش واسنجی‌شده با داده‌های اقلیم و خاک، بهتر از واسنجی تنها با متغیرهای اقلیمی است. مدل‌های واسنجی‌شده تنها با متغیرهای خاک نیز کمترین دقت را دارا بودند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده نکردن از داده‌های خاکی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های چوبی در استرالیا دقت و صحت پیش‌بینی‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از دیدگاه تئوری اکولوژی که توسط مطالعات تجربی بسیاری اثبات شده است، تأکید شده است که عوامل مختلف محیطی به‌ویژه دما، آب، مواد مغذی، نور، تعاملات زیست‌محیطی و اختلالات سبب پراکنش گونه‌ها می‌شوند. در مطالعات پراکنش گونه‌ای که به‌تازگی منتشر شده است، بسیاری از این عوامل حذف شده یا با عوامل دیگر و توجیه‌ناپذیر از نظر اکولوژیک جایگزین شده‌اند (Mod et al. 2016). در واقع، بیش از نیمی از مطالعات پراکنش گونه‌های گیاهی تنها براساس مجموعهٔ عوامل دما و بارش بررسی شدند، بنابراین به‌طور بالقوه چندین جنبهٔ دیگر عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های گیاهی مانند خاک و توپوگرافی را نادیده گرفته‌اند. اگرچه آب‌وهوا عامل اصلی کنترل‌کنندهٔ پراکنش گونه‌ها شناخته شده است، اما تنها عامل تعیین‌کنندهٔ پراکنش گونه‌های گیاهی به شمار نمی‌روند و گیاهان برای بقا و تولید مثل به خاک و عوامل محیطی دیگر نیاز دارند. با توجه به اینکه سرخدار در گذشتهٔ نه‌چندان دور در گسترهٔ وسیعی از جنگل‌های شمال

ایران به‌صورت متمرکز یا پراکنده وجود داشته است، ولی هم‌اکنون فقط در مناطق محدودی به‌ویژه در ارتفاعات بالادست دیده می‌شود، ضروری است که رویشگاه‌های جایگزین به‌منظور جلوگیری از انقراض و حفظ وضعیت موجود گونه معرفی شود. نتایج این پژوهش مناطق دارای پتانسیل احیا را مشخص کرده و با شناسایی رویشگاه‌های بالقوه، مناطق نیازمند حفاظت را معرفی می‌کند.

سپاسگزاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) که این تحقیق به عنوان بخشی از طرح شمارهٔ ۹۵۸۲۶۱۳۳ با عنوان «اُوت اکولوژی کمّی گونهٔ در معرض خطر سرخدار (*Taxus baccata* L.) و اثر تغییر اقلیم بر پراکنش آن در جنگل های هیرکانی (شمال ایران)» با حمایت آن انجام گرفته است، قدردانی می‌شود.

References

Alavi, S. J., Ahmadi, K., Hosseini, S. M., Tabari, M., & Nouri, Z. (2019). The response of English yew (*Taxus baccata* L.) to climate change in the Caspian Hyrcanian Mixed Forest ecoregion. *Regional Environmental Change*, 1-12.

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, *43*(6), 1223-1232.

Beckett, K., & Beckett, G. (1979). Planting native trees and shrubs: *Jarrold & Sons*.

Benham, S., Houston Durrant, T., Caudullo, G., & de Rigo, D. (2016). *Taxus baccata* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*, Publ. Off. EU, Luxembourg, pp e015921.

Bertrand, R., Perez, V., & Gégout, J. C. (2012). Disregarding the edaphic dimension in species distribution models leads to the omission of crucial spatial information under climate change: the case of Quercus pubescens in France, *Global Change Biology*. *18*(8), 2648-2660.

Carter, A., Kearney, M., Mitchell, N., Hartley, S., Porter, W., & Nelson, N. (2015). Modelling the soil microclimate: Does the spatial or temporal resolution of input parameters matter?. *Frontiers of Biogeography*, *7*(4), 138-154.

Claessens, L., Verburg, P. H., Schoorl, J. M., & Veldkamp, A. (2006). Contribution of topographically based landslide hazard modelling to the analysis of the spatial distribution and ecology of kauri (*Agathis australis*). *Landscape Ecology*, *21*(1), 63-76.

Dhar, A., Ruprecht, H., Klumpp, R., & Vacik, H. (2007). Comparison of ecological condition and conservation status of English yew population in two Austrian gene conservation forests. *Journal of Forestry Research*, *18*(3), 181-186.

Dobrowski, S. Z. (2011). A climatic basis for microrefugia: the influence of terrain on climate. *Global Change Biology*, *17*(2), 1022-1035.

Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, *77*(4), 802-813.

Esmailzadeh, O., S. M. Hoseini, & M. Tabari, 2007. A phytosociological study of English yew (*Taxus baccata* L.) in Afratakhteh reserve. *Pajouhesh & Sazandegi*, *74*: 17-24. (In Persian).

Fick, S.E., and Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, *37*(12), 4302-4315.

Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I., & Mantyka-Pringle, C. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, *16*(12), 1424-1435.

Hageer, Y., Esperón-Rodríguez, M., Baumgartner, J. B., & Beaumont, L. J. (2017). Climate, soil or both? Which variables are better predictors of the distributions of Australian shrub species?. *PeerJ*, 5, e3446.

Hidalgo, P., Marín, J., Quijada, J., & Moreira, J. (2008). A spatial distribution model of cork oak (*Quercus suber*) in southwestern Spain: a suitable tool for reforestation. *Forest Ecology and Management*, *255*(1), 25-34.

Iszkuło, G., Y. Didukh, M. J. Giertych, A. K. Jasińska, K. Sobierajska, & J. Szmyt, (2012). Weak competitive ability may explain decline of *Taxus baccata*. *Annals of Forest Science*, *69*(6), 705-712.

Katsavou, I., & Ganatsas, P. (2012). Ecology and conservation status of *Taxus baccata* population in NE Chalkidiki, northern Greece. *Dendrobiology*, 68, 55-62.

Lehmann, A., Overton, J. M., & Austin, M. (2002). Regression models for spatial prediction: their role for biodiversity and conservation. *Biodiversity & Conservation*, *11*(12), 2085-2092.

Marvie Mohadjer, M.R. (2005). Silviculture. University of Tehran Press.

Mod, H. K., Scherrer, D., Luoto, M., & Guisan, A. (2016). What we use is not what we know: environmental predictors in plant distribution models. *Journal of Vegetation Science*, *27*(6), 1308-1322.

Moeslund, J. E., Arge, L., Bøcher, P. K., Dalgaard, T., & Svenning, J. C. (2013). Topography as a driver of local terrestrial vascular plant diversity patterns. *Nordic Journal of Botany*, *31*(2), 129-144.

R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Sormunen, H., Virtanen, R., & Luoto, M. (2011). Inclusion of local environmental conditions alters high-latitude vegetation change predictions based on bioclimatic models. *Polar Biology*, *34*(6), 883-897.

Thomas, PA., Garcia-Martí X. (2015). Response of European yews to climate change: a review. *Forest Systems*, *24*(3), 1-11.

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., Araújo, MB. (2009). BIOMOD–a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32,369-373.

Iranian Journal of Forest
Vol. 11, No. 4, Winter 2020
pp. 477-492

Research Article

The importance of climatic, topographic, and edaphic variables in the distribution of yew species (*Taxus baccata* L.) and prioritization of areas for conservation and restoration in the north of Iran

S.J.Alavi[1*], K.Ahmadi[2], S.M.Hosseini[3], M.Tabari[3], and Z.Nouri[4]

[1] Assistant Prof, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
[2] Ph.D. student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
[3] Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
[4] Ph.D. graduated, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 18 May 2019, Accepted: 26 August 2019)

Abstract

Taxus baccata is an indigenous and valuable species in the Hyrcanian Forests. According to recent studies, the presence of this species in the distribution areas is declining; therefore, preserving and restoring this valuable species is of great importance. One of the most strategies for conservation and rehabilitation of valuable species is identification of its potential distribution and prioritization of areas with potential presence of this species using species distribution models. This study aims to prioritize the suitable habitats for preservation and restoration of yew in the Hyrcanian forest. In this study, the Boosted Regression Tree (BRT) algorithm was used to model the distribution of yew species in relation to climatic, edaphic, and topographic variables and to identify the most important variables affecting the distribution of yew. The results showed that the model constructed with climate variables in terms of such model evaluation criteria as true skills statistics (TSS=0.83) and area under the receiver operating characteristic curve (AUC =0.97) has better performance as compared to the edaphic and topographic models. Also, among the climate variables, mean temperature of driest quarter and precipitation of warmest quarter has the most effect on the distribution of yew species. Soil organic carbon, sand percent, cation exchange capacity, altitude, and slope percent were also the other important factors affecting the distribution of yew species. Finally, by combining the suitability maps of climatic, topographic, and edaphic models, a map of the conservation and restoration prioritization of yew species was prepared, which is very valuable in planning for restoration of this species in the Hyrcanian Forests.

Keywords: Yew, Hyrcanian forest, Species distribution model, Conservation.

∗Corresponding author Tel: +989111580097 Email: j.alavi@modares.ac.ir