Archive of SID

فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۵، شماره ۴، صفحه ۵۲۵-۵۱۳، (۱۳۹۸)

مدل‌سازی پراکنش و پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه سرخدار (*Taxus baccata* L.) در جنگل‌های هیرکانی ایران

سید جلیل علوی*[۱]، کوروش احمدی[۲]، سیدمحسن حسینی[۳]، مسعود طبری کوچکسرایی[٤] و زهرا نوری[۵]

۱- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (j.alavi@modares.ac.ir)
۲- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
(kouroshahmadi66@yahoo.com)
۳- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (hossini@modares.ac.ir)
٤- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (mtabari@modares.ac.ir)
۵- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (znouri9@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۷

چکیده

در این پژوهش با بهره‌گیری از چهار روش مدل‌سازی متداول در ارزیابی رویشگاه بالقوه گونه‌ها (مدل‌های خطی و جمعی تعمیم‌یافته، درخت طبقه‌بندی و جنگل تصادفی) و نقشه متغیرهای زیست‌اقلیمی و توپوگرافی، نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه سرخدار در جنگل‌های هیرکانی تهیه شد. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از معیار AUC (۰/۸۶۳=GLM، ۰/۸۷۱=GAM، ۰/۷۸۱=CTA و ۰/۹۲۲=RF) نشان داد که مدل جنگل تصادفی دارای بهترین عملکرد است که در آن، درصد شیب مهم‌ترین و شاخص تابش خورشیدی کم‌اهمیت‌ترین متغیرها هستند. این پژوهش نشان داد که احتمال حضور گونه سرخدار در منطقه مورد بررسی از شیب ۳۰ درصد به بعد بیشتر می‌شود و بعدازآن ثابت می‌ماند. در شرایط کنونی، مساحت رویشگاه‌های مطلوب و بالقوه برای گونه سرخدار در حدود ۱۰/۵ درصد منطقه مورد بررسی را دربر می‌گیرد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در حال حاضر و شرایط اقلیمی کنونی، قسمت‌های شرقی و مرکزی جنگل‌های شمال ایران پتانسیل بالاتری برای حضور گونه سرخدار دارند که این امر به مدیریت، احیا و حفاظت از این گونه با ارزش کمک خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های پراکنش گونه‌ای، مطلوبیت رویشگاه، سرخدار، متغیرهای زیست‌اقلیمی.

---

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۱۵۸۰۰۹۷

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آگاهی از پراکنش گونه‌ها و قابلیت پیش‌بینی آنها در مکان و زمان از وظایف بسیار مهم در بررسی پوشش گیاهی است. پراکنش گونه‌ها در مقیاس مکانی تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی قرار دارد که حضور هرگونه را در محدوده مشخصی تعیین می‌کند (Wang *et al.*, 2016). مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Species Distribution Models) به‌عنوان الگوریتم تحلیلی-آماری تعریف می‌شوند که با توجه به مشاهدات میدانی و نقشه متغیرهای محیطی می‌توانند دامنه جغرافیایی پراکنش گونه‌های گیاهی را تعیین نمایند (Dormann *et al.*, 2012). در سال‌های اخیر مدل‌های پراکنش گونه‌ای به‌طور زیادی در اکولوژی گیاهی در زمینه‌های مختلفی مانند اکولوژی منظر، اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها، شناسایی رویشگاه‌های مطلوب، طبقه‌بندی‌کردن رویشگاه‌های مختلف برای گونه‌های مختلف، بررسی دامنه پراکنش جغرافیایی گونه‌ها و بررسی آشیان اکولوژیکی به‌کار گرفته شده‌است. مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه و بررسی پراکنش جغرافیایی گونه‌ها یک موضوع کلیدی در بسیاری از پژوهش‌های اکولوژی، حفاظت محیط‌زیست و حیات‌وحش و همچنین ارزیابی روند تغییرات در مقیاس‌های مختلف است. آب‌وهوا عامل اصلی تنظیم پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی هست. بیشتر گونه‌های گیاهی به طیف وسیعی از شرایط آب‌وهوایی یا به آشیان اقلیمی وابسته هستند، ازاین‌رو از مدل‌های پراکنش گونه‌ای می‌توان برای بررسی تأثیر مشخصه‌های اقلیمی و همچنین سناریوهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها استفاده کرد (Guisan *et al.*, 2017). از پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه می‌توان به پژوهش Pino-Mejías و همکاران (2010) در رابطه با تعیین رویشگاه مناسب دو گونه بلوط *Quercus rotundifolia* و *Quercus suber* در جنوب غرب اسپانیا با استفاده از مدل‌های مختلف داده‌کاوی اشاره کرد. در این پژوهش مدل جنگل تصادفی بهترین عملکرد را داشت و رویشگاه‌های شمالی منطقه مورد بررسی پتانسیل بالاتری برای حضور گونه‌های بلوط داشتند. Clark و همکاران (2014) نیز به ارزیابی رویشگاه‌های کنونی و پیش‌بینی مطلوبیت رویشگاه گونه آسمان‌دار (*Ailanthus altissima*) با استفاده از مدل ماکزیمم آنتروپی شانون (MaxEnt) در امتداد آپالاش پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که بر رویشگاه‌های مطلوب این گونه ٤٨ درصد افزوده می‌شود. در هندوستان Remya و همکاران (2015) پراکنش فعلی رویشگاه‌های مناسب گونه درختی *Myristica dactyloides* را با استفاده از مدل پراکنش گونه‌ای ماکزیمم آنتروپی شانون مدل‌سازی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ رویشگاه‌های مطلوب این گونه به‌طور معناداری کاهش خواهد یافت. در داخل کشور نیز پژوهش‌هایی در خصوص مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها انجام شده است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره داشت. در پژوهشی Haidarian Aghakhani و همکاران (2017) پراکنش جغرافیایی گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) را در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از داده‌های اقلیمی و الگوریتم‌های مدل خطی تعمیم‌یافته، تجزیه‌وتحلیل طبقه‌بندی درختی، شبکه عصبی مصنوعی، مدل جمعی تعمیم‌یافته و جنگل تصادفی در چارچوب روش تلفیقی مدل‌سازی کردند. Mohammadi و همکاران (2017) با استفاده از دو مدل خطی و جمعی تعمیم‌یافته نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه ملج در جنگل خیرود را تهیه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد مدل جمعی تعمیم‌یافته کارایی بالاتری نسبت به مدل خطی دارد. Sadat Fatemi

www.SID.ir

Archive of SID

Azarkhavarani و همکاران (2017) مطلوبیت رویشگاهی گونه *Juniperus excelsa* را با استفاده از داده‌های زیست‌اقلیمی و مدل MaxEnt در استان سمنان برای شرایط کنونی و آینده بررسی کردند که نتایج آن نشان داد رویشگاه‌های مطلوب این گونه در آینده تغییر خواهد کرد. سرخدار یکی از قدیمی‌ترین گونه‌های درختی است که قدمت آن به دوران دوم زمین‌شناسی می‌رسد (Jafari Afrapoli *et al.*, 2018). شواهد نشان می‌دهد حضور گونه سرخدار به‌طور گسترده در دنیا درحال کاهش است و احتمال انقراض این گونه بسیار بالا هست (Thomas و Garcia-Marti، 2015). این گونه در طبیعت توانایی احیای پایینی دارد زیرا تحت-تأثیر عوامل بازدارنده‌ای مانند یخبندان‌های زمستانی، چرای گیاه‌خواران، بذر خواران قرار دارد. دلایل زیادی سبب ازبین‌رفتن گونه سرخدار از گذشته تاکنون بوده است که ازجمله می‌توان به جنگل‌زدایی، رقابت نوری، قطع عمدی برای استفاده از چوب و چرا توسط گیاه‌خواران اشاره کرد. با درنظر گرفتن عوامل بازدارنده زادآوری و همچنین عوامل نابودی گونه سرخدار که در بالا به آن اشاره شد و اینکه گونه سرخدار در معرض خطر است، شناسایی مناطق دارای پتانسیل این گونه از اهمیت زیادی برخوردار است (Linares, 2013). مدل‌های پراکنش گونه‌ای در سال‌های اخیر در پژوهش-های علوم جنگل به‌طور قابل‌توجه مورداستفاده قرارگرفته است چراکه استفاده از این مدل‌ها مناطق دارای پتانسیل برای رشد هرگونه را در سطوح بزرگ مشخص می‌کند. رویشگاه‌های گونه سرخدار در بسیاری از مناطق جهان و ایران به دلایل بسیاری به‌تدریج ازبین رفته‌اند و فقط در نواحی معدودی به‌صورت لکه‌هایی در مساحت محدود باقی‌مانده‌اند. شرایط اصلی رویشگاه‌های موجود نیز به دلیل تخریب و دخالت‌های انسانی به همراه تغییرات اقلیمی در حال ازبین رفتن است. با توجه به اینکه گونه سرخدار میراثی ارزشمند در سیر تحول جنگل‌های جهان به شمار می‌رود و به‌عنوان شاهدی زنده از شرایط اکولوژیک محیط خود در گذشته و حال هستند، شناسایی مناطق دارای پتانسیل حضور و عوامل محدودکننده استقرار این گونه یکی از ضروریات بررسی‌های اکولوژیکی در جنگل‌های هیرکانی هست. به‌طورکلی اهداف این پژوهش شامل ۱) مدل‌سازی پراکنش گونه سرخدار با استفاده از مدل‌های مختلف و انتخاب بهترین مدل، ۲) شناسایی عوامل مهم تأثیرگذار بر پراکنش سرخدار در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران و ۳) شناسایی رویشگاه‌های مطلوب این گونه در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، است.

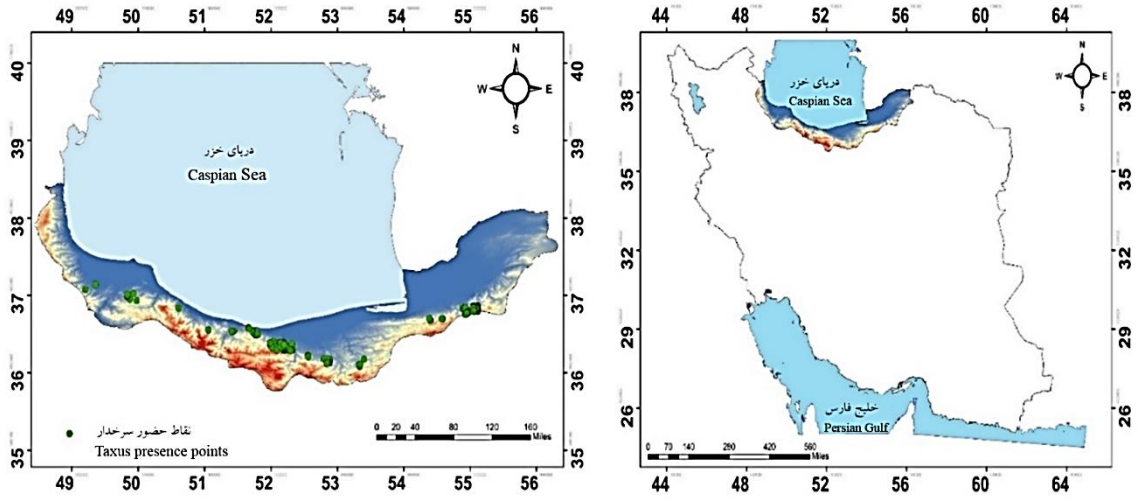
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

برای انجام این پژوهش، مناطق حضور گونه سرخدار در جنگل‌های هیرکانی در استان‌های مازندران، گیلان و گلستان بر اساس پژوهش‌های قبلی انجام‌شده و همچنین اظهارات کارشناسان و متخصصین شناسایی شدند. سپس، گونه سرخدار در این مناطق آماربرداری شد و مختصات جغرافیایی آنها نیز با GPS (Global Positioning System) ثبت شد. علاوه بر این، از داده‌های آماربرداری‌شده و نقشه تیپ‌بندی جنگل در کتابچه طرح‌های جنگلداری که در سال‌های مختلف توسط ادارات منابع طبیعی تهیه شده نیز برای تعیین حدود پراکنش گونه سرخدار استفاده شد. درمجموع ۱۵۷۵ نقطه حضور سرخدار در جنگل‌های هیرکانی ثبت و وارد مدل شد (شکل ۱).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- منطقه مورد بررسی به همراه نقاط حضور گونه سرخدار

Figure 1. Study area along with English yew presence points

تهیه نقشه متغیرهای محیطی

برای بررسی پراکنش بالقوه گونه سرخدار نقشه متغیرهای اقلیمی (۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی) و توپوگرافی تهیه شد. متغیرهای زیست‌اقلیمی یکی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی بوده کـه از مقـادیر دما و بارش ماهیانه استخراج می‌شوند و معنی‌داری زیستی بیشتری، نسبت به متغیرهای اقلیمی دارند. نوزده متغیر زیست‌اقلیمی (جدول ۱) برای شرایط اقلیمی فعلی از پایگاه داده‌های Worldclim به‌دست آمد. از مدل رقومی ارتفاع برای تولید نقشه‌های درصد شیب و جهت جغرافیائی در نرم‌افزار Arcgis 10.3 استفاده شد. جهت جغرافیایی با استفاده از رابطهٔ ۱ به شاخص تابش خورشیدی (Radiation Index) تبدیل شد که در آن θ مقدار آزیموت جهت برحسب درجه است. مقدار شاخص تابش خورشیدی بین صفر و یک است و جهت شمال و شمال شرقی دارای مقدار صفر (خنک‌ترین دامنه) و جهت جنوب و جنوب غربی دارای مقدار یک (گرم‌ترین دامنه) است (Aertsen *et al*., 2010).

$$TRASP= [1-\cos((\pi /180)(\theta-30))] /2 \quad \text{رابطهٔ (۱)}$$

برای بررسی هم‌خطی میان متغیرهای محیطی از یک فرآیند گام‌به‌گام و تخمین عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor: VIF) استفاده شد و تنها متغیرهایی با مقدار VIF کمتر از ۱۰ انتخاب شدند (Naimi *et al*., 2014). درنهایت ۸ متغیر محیطی شامل BIO_3، BIO_8، BIO_9، BIO_{15}، BIO_{18}، BIO_{19}، شیب و تابش خورشیدی به‌منظور مدل‌سازی وارد مدل‌ها شدند.

مدل‌سازی پراکنش فعلی گونه سرخدار

در این پژوهش، از چهار روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM: Generalized Linear Model)، مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM: Generalized Additive Model)، تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA: Classification Tree Analysis) و روش جنگل‌های تصادفی (RF: Random Forests) برای پیش‌بینی پراکنش فعلی گونه سرخدار استفاده شد. مدل‌های خطی تعمیم‌یافته که به‌طور موفقیت‌آمیز در پژوهش‌های اکولوژیک مورداستفاده قرارگرفته‌اند، بسط مدل‌های خطی عام می‌باشند (Guissan *et al*., 2002). این مدل‌ها برای مواقعی

www.SID.ir

Archive of SID

که مشاهدات به‌طور نرمال توزیع نیافته‌اند و زمانی که دیگر روش‌های مدل رگرسیون مناسب نمی‌باشند، ابداع شدند (Guissan *et al.*, 2002). مدل‌های جمعی تعمیم-یافته یک مدل ناپارامتری بوده و بسط مدل‌های خطی تعمیم‌یافته است. در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته برخلاف مدل‌های خطی تعمیم‌یافته داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین می‌کنند و توانایی بالایی در تجزیه‌وتحلیل داده‌های اکولوژیکی و مشخص کردن رابطه غیرخطی بین متغیرهای مختلف دارند. نکته مهم در مورد این مدل‌ها این است که به‌جای مدل محوری، داده‌محور هستند. درختان طبقه‌بندی و رگرسیون (Classification and Regression Trees) یکی از روش‌های رگرسیون ناپارامتری است که درخت تصمیم‌گیری را بر اساس الگوریتم تقسیم‌بندی دودویی رشد می‌دهد (Aertsen *et al.*, 2010). جنگل تصادفی یک روش قدرتمند است که مبتنی بر روش‌های جدید ترکیب اطلاعات است که در آن تعداد زیادی درخت تصمیم ایجادشده، سپس تمام درختان باهم برای پیش‌بینی ترکیب می‌گردند (Cutler *et al.*, 2007).

جدول ۱- متغیرهای زیست‌اقلیمی استفاده‌شده در پژوهش

Table 1. The bioclimatic variables used in the current study

نام اختصاری Abbreviation	متغیر زیست‌اقلیمی Bioclimatic variables	نام اختصاری Abbreviation	متغیر زیست‌اقلیمی Bioclimatic variables
BIO_1	میانگین دمای سالانه Annual Mean Temperature	BIO_{11}	میانگین دما در سردترین فصل سال Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO_2	میانگین دامنه دمای روزانه Mean Diurnal Range	BIO_{12}	مجموع بارندگی سالانه Annual Precipitation
BIO_3	ایزو ترمالیتی ((۱۰۰) × (BIO_7/BIO_2)) Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)	BIO_{13}	بارندگی در مرطوب‌ترین ماه سال Precipitation of Wettest Month
BIO_4	تغییرات فصلی دما Temperature Seasonality	BIO_{14}	بارندگی در خشک‌ترین ماه سال Precipitation of Driest Month
BIO_5	بیشینه دما در گرم‌ترین ماه Max Temperature of Warmest Month	BIO_{15}	تغییرات بارندگی فصلی Precipitation Seasonality
BIO_6	کمینه دما در سردترین ماه Min Temperature of Coldest Month	BIO_{16}	بارندگی در مرطوب‌ترین فصل سال Precipitation of Wettest Quarter
BIO_7	تغییرات دمای سالانه Temperature Annual Range	BIO_{17}	بارندگی در خشک‌ترین فصل سال Precipitation of Driest Quarter
BIO_8	میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل سال Mean Temperature of Wettest Quarter	BIO_{18}	بارندگی در گرم‌ترین فصل سال Precipitation of Warmest Quarter
BIO_9	میانگین دما در خشک‌ترین فصل سال Mean Temperature of Driest Quarter	BIO_{19}	بارندگی در سردترین فصل سال Precipitation of Coldest Quarter
BIO_{10}	میانگین دما در گرم‌ترین فصل سال Mean Temperature of Warmest Quarter		

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی پراکنش فعلی گونه سرخدار

برای ارزیابی قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از ۱۰ تکرار تقسیم‌بندی تصادفی برای هریک از چهار مدل پراکنش گونه‌ای استفاده شد. در هر تقسیم تصادفی از ۷۰ درصد داده‌ها برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی آن استفاده شد. برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها در پیش‌بینی پراکنش فعلی گونه سرخدار از مقدار سطح زیر منحنی (AUC: Area Under Curve) در تحلیل ویژگی عملیاتی پذیرنده (ROC: Receiver Operating Characteristic) 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 درحالی‌که مقدار ۱ بیان‌کننده توانایی تمایز کامل مدل است (Phillips *et al*., 2009). مدل با مقدار AUC بین ۵ /۰ تا ۰/۷ 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. تمامی مراحل مدل‌سازی، ارزیابی و تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه سرخدار با استفاده از نرم‌افزار آماری R و بسته‌های raster و biomod2 انجام شد.

نتایج

ارزیابی عملکرد مدل‌های مورداستفاده در این پژوهش در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه سرخدار با استفاده از معیار سطح زیر منحنی نشان داد که صحت پیش‌بینی پراکنش گونه سرخدار برای همه مدل‌ها با میانگین ۰/۸۶ خوب بود (جدول ۲). نتایج مقایسه بین مقادیر هر یک از معیار ارزیابی مدل، برای تعیین مناسب‌ترین مدل نشان داد که مدل جنگل تصادفی ازنظر معیار ارزیابی مدل با میانگین AUC معادل ۰/۹۲۲ (۰/۰۱۷ ± = انحراف معیار) نسبت به دیگر مدل‌ها دارای بهترین عملکرد برای پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه سرخدار است (جدول ۲). روش مدل‌سازی CTA با مقدار میانگین AUC معادل ۰/۷۸۱ (۰/۰۵ ± = انحراف معیار) دارای کم‌ترین موفقیت در پیش‌بینی پراکنش گونه سرخدار بودند.

جدول ۲- صحت مدل به‌دست‌آمده از مقادیر میانگین سطح زیر منحنی

Table 2. Model accuracies given by mean AUC values

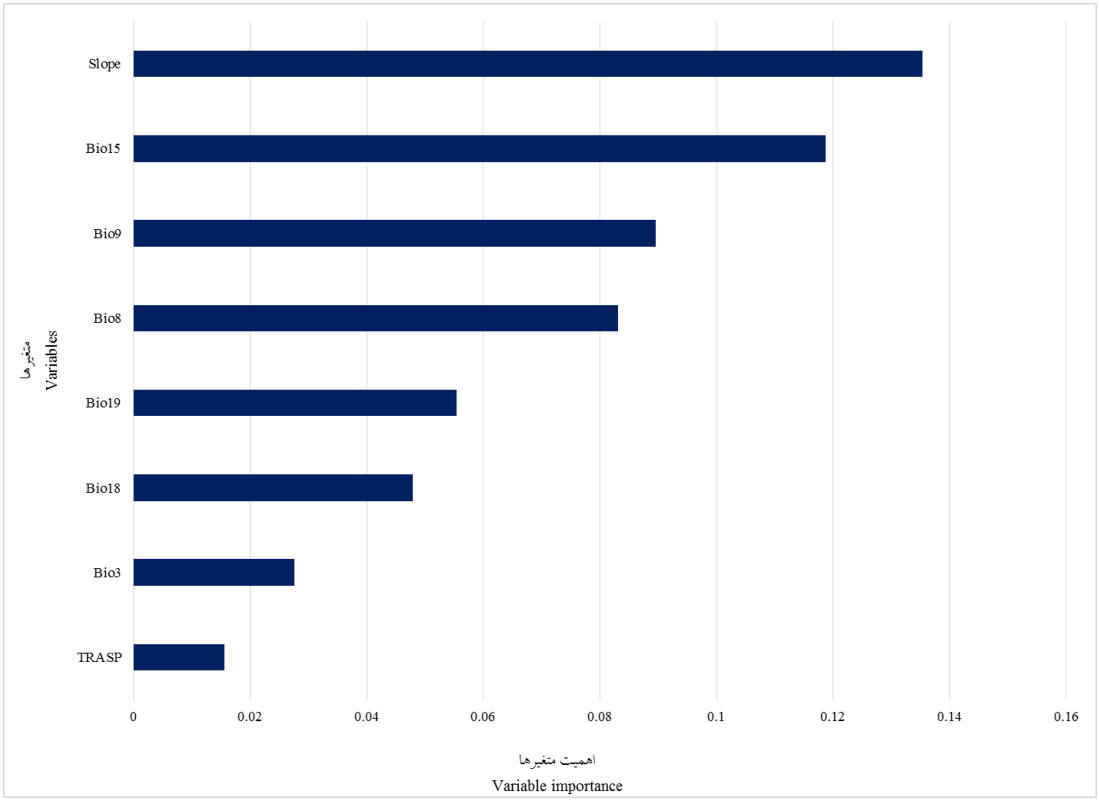
مدل‌ها Models	سطح زیر منحنی Area Under Curve			
	کمینه Min	بیشینه Max	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation
مدل خطی تعمیم‌یافته Generalized Linear Model	0.809	0.91	0.863	0.027
مدل جمعی تعمیم‌یافته Generalized Additive Model	0.827	0.914	0.871	0.026
تحلیل طبقه‌بندی درختی Classification Tree Analysis	0.676	0.84	0.781	0.05
جنگل تصادفی Random Forest	0.891	0.95	0.922	0.017

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج حاصل از ارزیابی اهمیت نسبی متغیرها با استفاده از فن‌های درخت مبنا (جنگل تصادفی و تحلیل طبقه‌بندی درختی) نشان داد که متغیرهای درصد شیب و BIO_{15} دارای بیشترین تأثیر در پراکنش گونه سرخدار هستند. متغیرهای تابش خورشیدی و BIO_3 کمترین تأثیر را بر احتمال حضور گونه سرخدار داشتند. در خصوص مدل‌های خطی و جمعی تعمیم‌یافته نیز نتایج این پژوهش نشان داد که متغیرهای BIO_{15} و BIO_{18} مهم‌ترین و متغیرهای BIO_8 و TRASP کم‌اهمیت‌ترین متغیرها در پراکنش مکانی گونه سرخدار در جنگل‌های شمال کشور هستند. در شکل ۲، نمودار اهمیت نسبی متغیرها در الگوریتم جنگل تصادفی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل ارائه شده است.

نتایج این پژوهش نشان داد که گونه سرخدار در منطقه موردبررسی نسبت به متغیر درصد شیب رفتاری هم‌نوا افزایشی دارد. درصد شیب در منطقه مورد بررسی از صفر تا حدود ۱۶۰ درصد تغییر می‌نماید. نتایج نشان داد که با افزایش درصد شیب (از ۳۰ درصد به بعد) احتمال حضور گونه سرخدار نیز افزایش و سپس تقریباً ثابت می‌ماند (شکل ۳). نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه سرخدار با استفاده از مدل جنگل تصادفی در شکل ٤ ارائه‌شده است. نتایج نشان داد که در شرایط کنونی، مساحت رویشگاه‌های مطلوب برای گونه سرخدار برابر با ۱۱۲۰۰ کیلومترمربع که در حدود ۱۰/۵ درصد منطقه مورد بررسی را دربر می‌گیرد (شکل ٤).

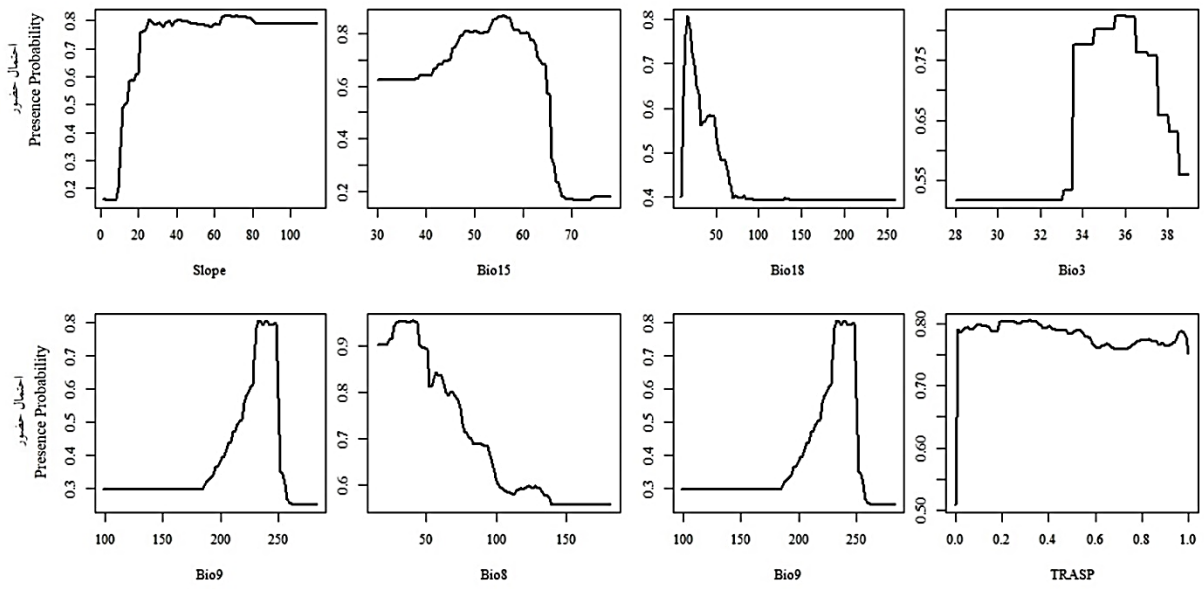


شکل ۲- نمودار اهمیت نسبی متغیرها در الگوریتم جنگل تصادفی

Figure 1. The relative importance of variables in Random Forest algorithm

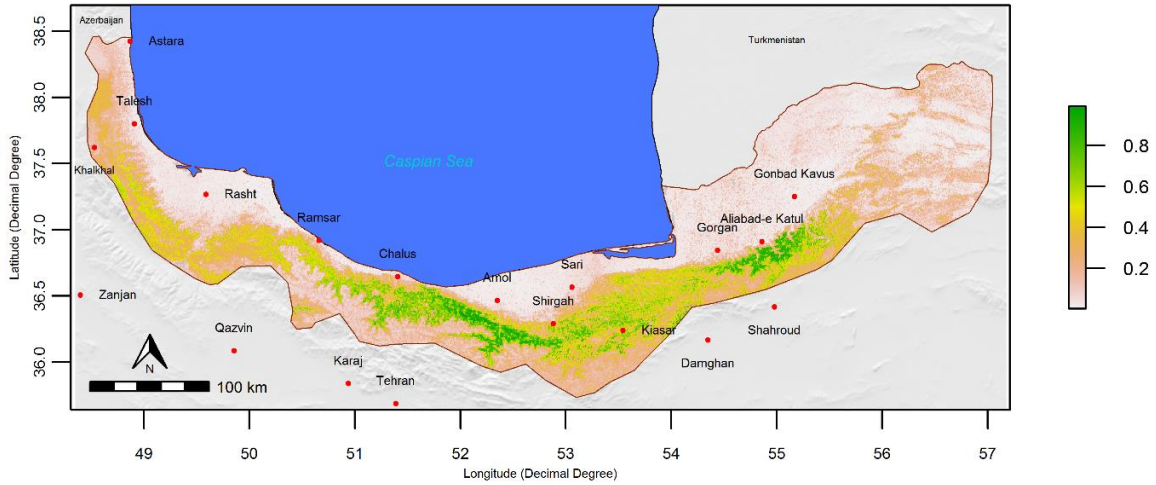
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- پاسخ گونه سرخدار نسبت به متغیرهای محیطی

Figure 3. The response of *Taxus baccata* to environmental variables



شکل ٤- نقشه احتمال حضور گونه سرخدار در جنگل‌های هیرکانی

Figure 4. The presence probability of *Taxus baccata* in the Hyrcanian forests

بحث

در این پژوهش برای تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه سرخدار از چهار مدل پراکنش گونه‌ای استفاده شد. مقدار میانگین AUC همه روش‌های مدل‌سازی استفاده‌شده در این پژوهش ۰/۸٦ بوده است. مقدار AUC بین ۰/۸ و ۰/۹ نشان می‌دهد که این مدل‌ها دارای قابلیت خوبی برای پیش‌بینی پراکنش گونه سرخدار در منطقه مورد بررسی هستند. نتایج حاصل از مقایسه عملکرد چهار مدل GLM، GAM، CTA و RF نشان داد که هر چهار مدل دارای عملکرد مناسبی برای مدل-سازی مطلوبیت رویشگاه گونه سرخدار هستند که مدل RF نسبت به دیگر مدل‌ها دارای عملکرد بهتری است که با نتایج Bučas و همکاران (2013) و Wang و همکاران (2013) که در آن، الگوریتم جنگل تصادفی نسبت به دیگر مدل‌ها کارایی بالاتری در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها دارد، مطابقت دارد. در خصوص

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم جنگل تصادفی به‌عنوان یک روش قدرتمند باید اشاره داشت دقت طبقه‌بندی بسیار بالا، روش جدید در تعیین اهمیت متغیر، توانایی مدل‌سازی اثرهای متقابل پیچیده میان متغیرهای پیش‌بینی کننده، انعطاف‌پذیری برای انجام انواع مختلفی از تجزیه‌وتحلیل داده‌های آماری ازجمله رگرسیون، طبقه-بندی و یک الگوریتم برای محاسبه داده‌های ازدست‌رفته از عمده ویژگی‌های این روش است که آن را از دیگر روش‌ها متمایز می‌سازد (Cutler *et al.*, 2007).

در این پژوهش، نتایج مدل‌سازی پراکنش گونه سرخدار با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در شرایط اقلیمی فعلی نشان داد که رویشگاه‌های مطلوب گونه سرخدار بیشتر در استان‌های گلستان و مازندران پراکنش دارند. در استان گیلان نیز لکه‌هایی در لاهیجان و رشت گسترش دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که درصد شیب مهم‌ترین متغیر ورودی در پراکنش گونه سرخدار بوده است. احتمال حضور گونه سرخدار در منطقه مورد بررسی از شیب ۳۰ درصد به بعد بیشتر می‌شود و بعدازآن ثابت می‌ماند. پژوهش‌های Lesani (1999)، Golalizadeh (2001) و Esmailzadeh و همکاران (2007) نشان می‌دهد که رویشگاه‌های سرخدار مازندران (گزو و واز) بر روی شیب‌های تند قرار دارند. البته تحقیقات Dhar و همکاران (2007) و Iszkuleo و همکاران (2005, 2012) در نقاط مختلف دنیا نیز نشان دادند که بیشتر رویشگاه‌های خارج از ایران هم بر روی شیب‌های متوسط تا زیاد استقرار یافته‌اند. نتایج پژوهش Piovesan و همکاران (2009) نیز بیان می‌دارد که گونه سرخدار در Apennines ایتالیا عمدتاً در جهت‌های مرطوب (شمال و غرب) و شیب‌های متوسط ۶۰-۳۰ درصد مشاهده می‌شود که با نتایج این پژوهش همسو است. ذکر این نکته ضروری است که سرخدار برخلاف آنچه شایع شده است، رویشگاه‌های کم‌عمق و سنگلاخی و صخره‌ای را ترجیح نمی‌دهد و خواهان بستری با خاک عمیق و شیب اندک و یا ملایم است. به‌نظر می‌رسد به دلایل مختلف مانند رقابت برای رطوبت خاک با گونه‌های دیگر جنگلی، (Loarie *et al.*, 2009) سرخدار به مناطق سخت‌گذر برای جلوگیری از سرچر و لگدمال‌شدن و شیب‌های تند به-علت عدم استقرار دیگر گونه‌ها و نیاز کم خاکی استقرار یافته است. همچنین در شیب‌های زیاد تخریب انسانی کمتر است (Pourbabaei *et al.*, 1998). در خصوص جهت جغرافیایی نیز این پژوهش نشان داد که شاخص تابش خورشیدی که مستخرج از جهت جغرافیایی است کمترین تأثیر را بر پراکنش گونه سرخدار داشته است. منحنی پاسخ گونه سرخدار نسبت به شاخص تابش خورشیدی نشان داد که بیشینه احتمال حضور در جهت‌های شمالی و جنوبی تقریباً مشابه است و گونه سرخدار در کل منطقه مورد بررسی نسبت به این شاخص بی‌تفاوت است. نتایج این پژوهش با نتایج Pourbabaei و همکاران (1998) و Ebady and Omidvar (2011) که در آن گونه سرخدار بیشتر جهت‌های شمالی را می‌پسندد، مغایرت دارد.

بارزبودن تأثیر و نقش ویژگی‌های توپوگرافی در این پژوهش و پژوهش‌های Claessens و همکاران (2006) و Hidalgo و همکاران (2008) بیانگر اهمیت این خصوصیات در مدل‌سازی پراکنش مکانی پوشش گیاهی و مشخصه‌های کمی جنگل است که در این میان برخی از خصوصیات با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه، تأثیر بیشتر و برخی تأثیر کم‌تری دارند. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش در مورد نوع ارتباط مشخصه‌های کمی جنگل با خصوصیات توپوگرافی با دیگر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که پراکنش مشخصه‌های کمی هر جنگل منحصربه‌فرد بوده، بنابراین امکان

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه نتایج به دلیل متغیربودن نوع گونه و پیچیدگی شرایط توپوگرافی چندان صحیح نیست.

این گونه در گذشته نه‌چندان دور در سطح وسیعی از جنگل‌های شمال ایران به‌صورت متمرکز و یا پراکنده وجود داشته است ولی هم‌اکنون فقط در مناطق محدودی به‌ویژه در ارتفاعات بالادست دیده می‌شود. ازاین‌رو ضروری است که رویشگاه‌های جایگزین برای جلوگیری از انقراض و حفظ وضعیت موجود گونه معرفی شود. این کار از آن جهت لازم است که تغییر اقلیم، وقوع آتش‌سوزی، حمله آفات و گسترش بیشتر بیماری ممکن است منجر به از دست رفتن ناگهانی پایه‌های باقیمانده از این گونه باارزش شود. به همین خاطر لازم است که علاوه بر حفاظت و حمایت پایه‌های موجود به زادآوری گونه سرخدار در رویشگاه‌های تخریب‌شده که دارای شرایط حضور گونه هستند، پرداخته شود.

تشکر و قدردانی

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور که این تحقیق به‌عنوان بخشی از طرح شماره ۹۵۸۲۶۱۳۳ با عنوان "اوت اکولوژی کمی گونه در معرض خطر سرخدار (*Taxus baccata* L.) و اثر تغییر اقلیم بر پراکنش آن در جنگل‌های هیرکانی (شمال ایران)" موردحمایت این صندوق انجام شده است، قدردانی می‌شود.

References

- Aertsen, W., V. Kint, J. Van Orshoven, K. Özkan & B. Muys, 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests, *Ecological modelling*, 221(8): 1119-1130.
- Bučas, M., U. Bergström, A. L. Downie, G. Sundblad, M. Gullström, M. Von Numers & M. Lindegarth, 2013. Empirical modelling of benthic species distribution, abundance, and diversity in the Baltic Sea: evaluating the scope for predictive mapping using different modelling approaches, *ICES Journal of Marine Science*, 70(6): 1233-1243.
- Claessens, L., P. H. Verburg, J. M. Schoorl & A. Veldkamp, 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.
- Clark, J., Y. Wang & P. V. August, 2014. Assessing current and projected suitable habitats for tree-of-heaven along the Appalachian Trail, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 369(1643): 20130192.
- Cutler, D. R., T. C. Edwards Jr, K. H. Beard, A. Cutler, K. T. Hess, J. Gibson & J. J. Lawler, 2007. Random forests for classification in ecology, *Ecology*, 88(11): 2783-2792.
- Dhar, A., H. Ruprecht, R. Klumpp & H. Vacik, 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.
- Dormann, C. F., S. J. Schymanski, J. Cabral, I. Chuine, C. Graham, F. Hartig, M. Kearney, X. Morin, C. Römermann, B. Schröder & A. Singer, 2012. Correlation and process in species distribution models: bridging a dichotomy, *Journal of Biogeography*, 39(12): 2119-2131.
- Ebady, A. & A. Omidvar, 2011. Relationship between some ecological factors and distribution of yew tree (Taxus baccuta L.) in Arasbaran forests (Case study: Ilganechay and Horand regions), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(3): 327-339. (In Persian)
- 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)
- Golalizadeh, D., 2001. Phytosociological study on natural *Taxus baccata* in forests of Gorgan, Qaemshahr and Noor. MSc thesis. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources. Gorgan University of

www.SID.ir

Archive of SID

Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran, 120 p. (In Persian)
- Guisan, A., J. Edwards, C. Thomas & T. Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene, *Ecological Modelling*, 157(2-3): 89-100.
- Guisan, A., W. Thuiller & N. E. Zimmermann, 2017. Habitat suitability and distribution models: with applications in R. first edition. Cambridge University Press, Cambridge, 478 p
- Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani & 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(3): 497-511. (In Persian)
- Hidalgo, P. J., J. M. Marín, J. Quijada & J. M. Moreira, 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.
- Iszkuleo, G., A. Boratynski, Y. Didukh, K. Romaschenko & N. Pryazhko, 2005. Changes of population structure of *Taxus baccata* L. during 25 years in protected area (Carpathians, Western Ukraine), *Polish Journal of Ecology*, 53(1): 13-23.
- 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.
- Lesani, M. R., 1999. Yew, *Taxus baccata* L. Research Institute of Forest and Rangeland, Islamic Republic of Iran, Iran. 215 p. (In Persian)
- Linares, J. C., 2013. Shifting limiting factors for population dynamics and conservation status of the endangered English yew (*Taxus baccata* L., Taxaceae), *Forest Ecology and Management*, 291: 119-127.
- Loarie, S. R., P. B. Duffy, H. Hamilton, G. P. Asner, C. B. Field & D. D. Ackerly, 2009. The velocity of climate change, *Nature*, 462(7276): 1052-1055.
- Jafari Afrapoli, M., K. Sefidi, S. Waez-Mousavi & S. Varamesh, 2018. Qualitative and quantitative evaluation of dead trees in English yew (*Taxus baccata*) in Afratakhteh Forests, Golestan Province, and northeastern Hyrcanian forests, *Journal of Forest Research and Development*, 3(4): 305-316.
- Mohammadi, A., S. J. Alavi & S. M. Hoseini, 2017. Predicting the habitat suitability of Wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) in Kheyroud Forest, *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 24(3): 67-80. (In Persian)
- Naimi, B., N. A. Hamm, T. A. Groen, A. K. Skidmore & A. G. Toxopeus, 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling?, *Ecography*, 37(2): 191-203.
- Pino-Mejías, R., M. D. Cubiles-de-la-Vega, M. Anaya-Romero, A. Pascual-Acosta, A. Jordán-López & N. Bellinfante-Crocci, 2010. Predicting the potential habitat of oaks with data mining models and the R system, *Environmental Modelling & Software*, 25(7): 826-836.
- Phillips, S. J., M. Dudík, J. Elith, C. H. Graham, A. Lehmann, J. Leathwick & S. Ferrier, 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data, *Ecological Applications*, 19(1): 181-197.
- Piovesan, G., E. P. Saba, F. Biondi, A. Alessandrini, A. Di Filippo & B. Schirone, 2009. Population ecology of yew (*Taxus baccata* L.) in the Central Apennines: spatial patterns and their relevance for conservation strategies, *Plant Ecology*, 205(1): 23-46.
- Pourbabaei, H., K. Djavanshir, M. F. Makhdoum & M. Zobiery, 1998. Distribution of common yew (*Taxus baccata* L.) and biodiversity of woody species of its sites in the Guilan Forests, *Journal of Enviromental Sciences*, 24: 29-40. (In Persian)
- Remya, K., A. Ramachandran & 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.
- Sadat Fatemi Azarkhavarani, S., M. Rahimi, M. Tarkesh & 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(2): 233-248. (In Persian)
- Thomas, P. A. & X. Garcia-Martí, 2015. Response of European yews to climate change: A review, *Forest Systems*, 24(3): 1-11.

www.SID.ir

Archive of SID

- Wang, T., G. Wang, J. Innes, C. Nitschke & 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.

- Wang, H., X. Shao, Y. Jiang, X. Fang & 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.

www.SID.ir

Archive of SID

Modeling the potential habitat of English yew (*Taxus baccata* L.) in the Hyrcanian forests of Iran

S. J. Alavi[*1], K. Ahmadi[2], S. M. Hosseini[3], M. Tabari Kouchksaraei[4] and Z. Nouri[5]

1- Assistant Prof, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (j.alavi@modares.ac.ir)
2- Ph.D. student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (kouroshahmadi66@yahoo.com)
3- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (hossini@modares.ac.ir)
4- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (mtabari@modares.ac.ir)
5- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (znouri9@gmail.com)

Received: 01.10.2018 Accepted: 17.01.2019

Abstract

In this study, using four commonly used modeling methods for assessing the potential habitat of yew species (generalized linear and additive models, classification and regression tree and random forest) and maps of the bioclimatic and topographic, the suitability map of the yew species in Hyrcanian forests was prepared. The evaluation of models by using AUC criterion (GLM=0.863, GAM=0.871, CTA=0.781, and RF=0.922) showed that the random forest model has the best performance in which slope percentage and solar radiation index are the most and least important variables, respectively. The present study showed that the presence probability of yew species in relation to slope percentage in the study area increases from 30% and then levels off. In the current conditions, the area of suitable habitats for yew species is about 10.5% of the studied area. The results of this research indicated that in the current climatic conditions, the suitable areas for presence of yew species are in east and center of the study area that will help to manage, protect and restore the habitats of this invaluable species.

Keywords: Bioclimatic variables, English yew, Habitat suitability, Species distribution models.

[*] Corresponding author Tel: +989111580097

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir