

## تعیین مطلوبیت رویشگاه بلندمازو (*Quercus castaneifoliae* C. A. Mey) برای برنامه‌ریزی احیایی با استفاده از مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای

فرزانه مقبل اصفهانی<sup>۱</sup>، سیدجلیل علوی<sup>۲\*</sup>، سیدمحسن حسینی<sup>۳</sup> و مسعود طبری کوچسرای<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (farzaneh.moghbel@modares.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (j.alavi@modares.ac.ir)

۳- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (hosseini@modares.ac.ir)

۴- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (mtabari@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸

### چکیده

با وجود پتانسیل جنگل‌های هیرکانی برای حفظ توده‌های بلندمازو، فراوانی این گونه به شدت کاهش یافته است و بیشتر توده‌های جوان این گونه به طور جدی در معرض تهدید قرار گرفته‌اند. این پژوهش با استفاده از یک دیدگاه تلفیقی، پراکنش گونه بلندمازو جنگل هیرکانی را با هدف تعیین مناطق بهینه برای احیای جنگل با استفاده از پنج روش مختلف مدل‌سازی شامل مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)، مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM)، تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA)، مدل رگرسیون تقویت‌شده (GBM) و روش‌های جنگل تصادفی (RF) ارائه می‌دهد. نقشه‌های بارندگی و دما بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از شبکه‌ای از ایستگاه‌های هواشناسی کشور و همچنین داده‌های خاک از نقشه‌های پایگاه Soilgrid مشتق شد. سپس مهم‌ترین متغیرهای مستقل تأثیرگذار در پراکنش بلندمازو شناسایی شد. نتایج نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک، pH، تغییرات بارندگی فصلی و بارندگی در سردترین فصل سال در تعیین و توسعه رویشگاه این گونه از بیشترین اهمیت نسبی برخوردار بوده و منطقه هیرکانی دارای پتانسیل مطلوب ۱۴/۱ درصد برای این گونه است. نقشه مطلوبیت رویشگاه تولیدشده، به‌عنوان مبنایی برای طرح‌های احیایی جنگل‌ها به‌ویژه در مناطقی که بیشتر تحت تأثیر تخریب هستند، پیشنهاد می‌شود. این نقشه بیانگر مطلوبیت بالای رویشگاه این گونه در قسمت جنوب غربی هیرکانی است.

واژه‌های کلیدی: رویشگاه‌های مطلوب، متغیرهای اولیه و ثانویه توپوگرافی، جنگلکاری

## مقدمه

محیطی محلی مطابقت داشته باشند (García-Quijano

et al., 2008). همچنین، آنچه موفقیت یک پروژه احیایی را تضمین می‌کند، انتخاب مکان صحیح (رویشگاه بالقوه) برای کاشت گونه‌ها است، به این مفهوم که اگر یک گونه در محیط مناسب برای رشد خود کاشته نشود، هر قدر هم که برای آن امکانات زیستی فراهم شود، در نهایت از بین خواهد رفت و سبب نابودی حجم زیادی از منابع مالی و زیستی در منطقه خواهد شد. از پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص جنگلکاری در ایران با رویکرد مکان‌یابی می‌توان به پژوهش‌های (Tabibian (2020) و Sharifian (2020) با استفاده از AHP، Rashidi (2020) به وسیله منطق فازی و رویکرد انتخاب گونه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به پژوهش (Pakzad (2017 اشاره کرد. با پیشرفت تکنولوژی یکی از جدیدترین روش‌هایی که می‌توان به وسیله آن هر دو رویکرد مؤثر در پروژه‌های احیایی (نوع گونه و مکان مناسب) را هم‌زمان مورد بررسی قرار داد، به‌کارگیری مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای یا مدل‌های مطلوبیت رویشگاه هستند. این مدل‌ها به‌عنوان پیش‌بینی رویشگاه بالقوه یک گونه گیاهی در سراسر سیمای سرزمین براساس ارتباط بین نقاط وقوع گونه‌های گیاهی و متغیرهای محیطی مؤثر تعریف می‌شوند (Safaei et al., 2013). به‌کارگیری مدل‌های پراکنش گونه‌ای دسته مهمی از مدل‌های بوم‌شناختی به‌شمار می‌روند که برای بررسی پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری استفاده می‌شوند. این مدل‌ها براساس تئوری آشیان اکولوژیکی استوار هستند، به این معنی که هر عامل محیطی تأثیرگذار روی پراکنش گونه‌های گیاهی دارای کمینه، بیشینه و مقدار بهینه است که در ترکیب با هم، قلمرو گونه‌ها را از هم جدا می‌سازند و یک آشیان اکولوژیکی را برای یک گونه گیاهی مشخص تشکیل می‌دهند. همچنین برای غلبه بر

بر اساس آمار منتشرشده سازمان جهانی غذا، جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها همچنان با سرعت هشداردهنده‌ای در حال رخ‌دادن است، به‌طوری که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، حدود ۴۲۰ میلیون هکتار از جنگل‌های دنیا در اثر تبدیل به کاربری‌های دیگر از بین رفته است (Santoro, 2020). پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر برسد، با درنظر گرفتن تغییرات رژیم غذایی و دیگر عوامل، این امر به معنای افزایش تقاضای غذا به مقدار ۳۵ تا ۵۶ درصد است، که بالقوه موجب افزایش تقاضا برای زمین، فشار بر جنگل‌ها و تخریب آن می‌شود. این روند منفی فعلی در تنوع زیستی و اکوسیستم جنگلی، پیشرفت به‌سوی توسعه پایدار را تضعیف خواهد کرد (Kjučukov et al., 2022). در همین راستا ضروری است که تخریب جنگل‌ها و استفاده ناپایدار از منابع را از رشد اقتصادی و الگوهای تولید و مصرف مرتبط جدا کرد. از مهم‌ترین راه‌حل‌هایی که می‌تواند ما را به سمت اکوسیستم متعادل هدایت کند، احیای جنگل‌ها است. احیا فعالیت است که بازایی یک اکوسیستم تخریب‌شده را با توجه به سلامت، یکپارچگی و پایداری آن آغاز یا تسریع می‌کند (Herbohn et al., 2023). اگرچه بازسازی غیرفعال (یعنی توالی ثانویه پس از ناپدیدشدن یا حذف تنش‌هایی که سبب تخریب شده‌اند) ممکن است در برخی موارد مناسب باشد، با این وجود، روش‌های فعال‌تر در اکوسیستم‌های بسیار تخریب‌شده موفق‌تر هستند (McIver and Starr, 2001).

انتخاب گونه مناسب یک موضوع اصلی در طرح‌های احیای جنگل‌ها است (Clewell, 2015). هرچند ممکن است معیارهای مختلفی در انتخاب گونه مورد استفاده قرار گیرد (به‌عنوان مثال؛ سازگاری با آتش-سوزی‌ها) گونه‌های انتخاب‌شده باید همیشه با شرایط

مدل‌سازی پیش‌بینی پتانسیل پراکنش جغرافیایی گونه *Quercus libani* توسط Çoban et al. (2020) با استفاده از مدل MaxEnt نشان داد برای حفاظت از این گونه در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جنگل باید از روش مدل‌سازی استفاده کرد. طی پژوهشی Taleshi et al. (2020) پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش بالقوه گونه بلندمازو را با استفاده از مدل‌سازی ترکیبی در جنگل‌های هیرکانی ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد الگوریتم جنگل‌تصادفی بهترین روش برای مدل‌سازی پراکنش گونه بلندمازو تحت تأثیر تغییر اقلیم است. مدل‌سازی آشیان اقلیمی گونه بلوط ایرانی با استفاده از پنج روش مدل‌سازی نشان داد بارندگی سالانه و میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه (Haidarian et al., 2017) و درجه حرارت سالانه و بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی (Mahmoudvand et al., 2021) بیشترین تأثیر را بر پراکنش گونه این گونه داشتند.

جنگل‌های شمال کشور در ادوار گذشته به دلایل مختلف مانند آتش‌سوزی، تغییر کاربری و قاچاق چوب خسارت زیادی دیده‌اند (Nasiri et al., 2023). به همین دلیل درختان قطور بلوط بلندمازو با قطر برابر سینه دو متر تنها در قسمت‌های بکر جنگلی باقی مانده‌اند. با این وضعیت وظیفه ما برای حفظ و نگهداری و احیای این گونه با ارزش صنعتی جنگلی بومی سنگین‌تر شده و عدم موفقیت این امر با توجه به بومی بودن بلندمازو سبب آسیب به غنای این گونه در کشور است. با توجه به اهمیت این موضوع و با عنایت به اینکه تاکنون پژوهش‌های جامعی در زمینه بررسی رویشگاه مطلوب گونه بلوط بلندمازو در جنگل‌های هیرکانی با استفاده از روش‌های مدل‌سازی مکانی انجام نشده است، در این پژوهش تلاش شد با استفاده از این روش، رویشگاه مطلوب گونه بلندمازو در جنگل‌های هیرکانی را تعیین

تغییرپذیری و کاهش عدم قطعیت ناشی از الگوریتم‌های مختلف، از ترکیب کردن مدل‌ها در یک پیش‌بینی نهایی می‌توان استفاده کرد که این امر، یک پیشرفت جدید در پژوهش‌های مدل‌سازی محسوب می‌شود (et al., 2021, Liao).

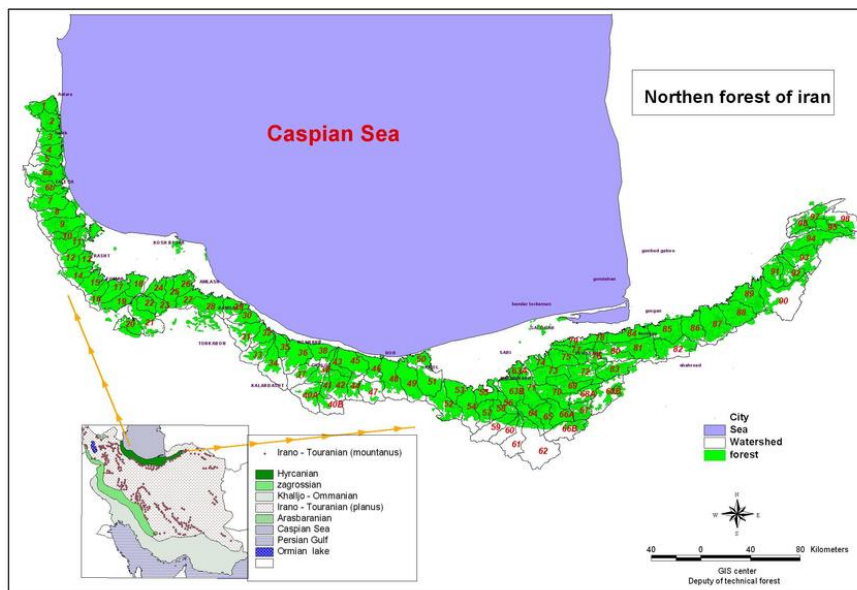
گونه بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) از مهم‌ترین گونه‌هایی است که در پروژه‌های احیایی جنگل‌های هیرکانی به‌طور مداوم مورد استفاده قرار می‌گیرد و هر ساله اراضی وسیعی در نواحی مخروبه با این گونه نهالکاری می‌شود (Mirzaei et al., 2019). گونه بلندمازو دومین گونه با ارزش جنگل‌های شمال است و حدود ۶ تا ۸ درصد مساحت کل جنگل‌های تجاری شمال کشور را تشکیل می‌دهد (Mahmoodi et al., 2022). این گونه بیشتر در جهت‌های جنوبی دامنه‌های شمالی البرز دیده می‌شود و از نظر ارتفاعی از اراضی جلگه‌ای تا ارتفاع حدود ۲۸۰۰ متر از سطح دریا گسترش داشته، که انعطاف‌پذیری اکولوژی این گونه را نشان می‌دهد (Taleshi et al., 2013). پژوهش‌های بسیاری با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌های مختلف بلوط انجام شده است. در پژوهشی McLaughlin and Zavaleta (2012) به برداشت صحرایی و مدل‌سازی پراکنش درختان *Quercus lobata* توسط مدل‌های GARP، MaxEnt و Bioclim پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که نهال‌ها حساسیت بیشتری به گرما دارند و رویشگاه آن‌ها بیشتر با افزایش دما به اطراف رودخانه محدود می‌شود. (Veslla and Schiron, 2013) به مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط برای پیش‌بینی مناطق برای جنگلکاری با قدرت تفکیک‌پذیری بالا و در مقیاس محلی پرداختند. در ارزیابی متغیرهای مؤثر بر پراکنش بالقوه این گونه، استرس سرما و خشکی عوامل اکولوژیک مهم در وقوع آن شناسایی شدند. همچنین

منطقه مورد بررسی در این پژوهش کل جنگل‌های هیرکانی است که بین عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی و طول ۴۸ تا ۵۶ درجه شرقی قرار گرفته است. گسترش ارتفاعی جنگل‌های هیرکانی از سطح دریا شروع و تا بیشینه ارتفاع ۲۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد دارد. میانگین دمای سالانه بین ۱۵ تا ۱۷/۵ درجه و بارندگی بین ۵۳۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر از شرق به غرب متغیر است (Taleshi et al., 2020).

و مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه مورد پژوهش، شناسایی شود. با تعیین عوامل تأثیرگذار و شناخت آن‌ها، دخالت‌های مدیریتی، احیایی و حفاظتی در مناطق پراکنش گونه را می‌توان بهتر و منطبق بر واقعیت‌های موجود اعمال کرد.

## مواد و روش

### منطقه مورد پژوهش



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

Figure 1. The geographical location of study area

داده‌های طرح آماربرداری به روش کاملاً تصادفی تعداد ۱۰۰ موقعیت انتخاب، پیمایش و صحت‌سنجی شد. در آخر برای گونه بلندمازو ۶۷۱ داده حضور و ۲۰۲۵ داده غیاب ثبت شد.

### داده‌های اقلیمی

متغیرهای زیست‌اقلیمی از مقادیر دما و بارش ماهیانه استخراج می‌شوند و معنی‌داری زیستی بیشتری، نسبت به متغیرهای اقلیمی دارند. در بیشتر پژوهش‌هایی که تاکنون در رابطه با مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها انجام شده است از ۱۹ متغیر زیست- اقلیمی وبگاه جهانی Worldclim و Chelsa با اندازه تفکیک یک کیلومتر

### تهیه داده‌های مورد نیاز

#### داده‌های زیستی

داده‌های حضور و غیاب گونه بلندمازو از داده‌های آماربرداری طرح‌های جنگلداری شمال کشور و طرح‌های تفصیلی در استان‌های گیلان، مازندران و گرگان، طی پیمایش منطقه و با مشاهده مستقیم که به کمک سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شده بود، به دست آمد. در مناطق دارای طرح‌های جنگلداری برای اجتناب از اریب ناشی از نمونه‌برداری، تنها یک داده حضور این گونه برای هر کیلومتر مربع در نظر گرفته شد (Zhang et al., 2012). همچنین برای صحت‌سنجی

استفاده شد (Ahmadi et al., 2019). در این پژوهش از نقشه‌های متغیرهای زیست‌اقلیمی که با همکاری دانشگاه ETH زوریخ با اندازه تفکیک ۹۰ متر برای

جنگل‌های شمال کشور به‌وسیله داده‌های سازمان هواشناسی کشور تهیه شد، استفاده شد.

جدول ۱- متغیرهای اقلیمی برگرفته از داده‌های اقلیمی

Table 1. Climatic variables derived from climatic data

متغیرهای زیست اقلیمی Climatic variables	اختصار Abbreviations	متغیرهای زیست اقلیمی Climatic variables	اختصار Abbreviations
میانگین دما در سردترین فصل Mean Temperature of Coldest Quarter	BIO11	میانگین دمای سالانه Annual mean temperature	BIO1
مجموع بارندگی سالانه Annual precipitation	BIO12	میانگین دامنه دمای روزانه Mean diurnal range	BIO2
بارندگی در مرطوب‌ترین ماه Precipitation of Wettest Month	BIO13	ایزوترمالیتی یا هم‌دمایی Isothermally	BIO3
بارندگی در خشک‌ترین ماه سال Precipitation of Driest Month	BIO14	تغییرات فصلی دما Temperature seasonality	BIO4
تغییرات فصلی بارندگی Precipitation seasonality	BIO15	حداکثر دما در گرم‌ترین ماه Max Temperature of Warmest Month	BIO5
بارندگی در مرطوب‌ترین فصل سال Precipitation of Wettest Quarter	BIO16	حداقل دما در سردترین ماه Min temperature of coldest month	BIO6
بارندگی در خشک‌ترین فصل Precipitation of Driest Quarter	BIO17	تغییرات دما سالانه Temperature Annual Range	BIO7
بارندگی در گرم‌ترین فصل سال Precipitation of Warmest Quarter	BIO18	میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل Mean Temperature of Wettest Quarter	BIO8
بارندگی در سردترین فصل سال Precipitation of Coldest Quarter	BIO19	میانگین دما در خشک‌ترین فصل Mean Temperature of Driest Quarter	BIO9
		میانگین دما در گرم‌ترین فصل Mean Temperature of Warmest Quarter	BIO10

پروفیل و اطلاعات سنجنده MODIS برای تهیه و آماده-سازی نقشه‌های متغیرهای اصلی خاک با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر در سه استان گلستان، مازندران و گیلان استفاده شد (جدول ۲).

تعیین هم‌خطی بین متغیرهای پیشگو برای بررسی هم‌خطی میان متغیرهای محیطی از یک فرآیند گام به گام و تخمین عامل تورم واریانس (VIF)

داده‌های خاک و توپوگرافی متغیر ارتفاع از سطح دریا از مدل دیجیتال ارتفاع (DEM) سنجنده ASTER با تفکیک مکانی ۹۰ متر به-دست آمد و برای تولید لایه‌های شیب، جهت جغرافیایی و شاخص تابش خورشیدی از بسته raster در نرم‌افزار R استفاده شد. از وبگاه جهانی Soilgrid با ۱۵۰۰۰۰

با استفاده از بسته USDM در محیط R استفاده شد. تنها متغیرهایی با مقدار VIF کمتر از ۱۰ جهت استفاده در مدل انتخاب شدند (Naimi et al., 2016).

جدول ۲- متغیرهای خاک مورد استفاده در ساخت مدل

Table2. Soil variables used for modeling

واحد Unit	تشریح Description	اختصار Abbreviations
pH	اسیدیته Potential of hydrogen	pH
گرم بر کیلوگرم g/kg	نیتروژن کل Nitrogen	N
کیلوگرم بر متر مکعب kg/m <sup>3</sup>	چگالی کربن آلی Organic carbon density	OCD
درصد گرم بر صدگرم g/100g (%)	نسبت ذرات رس Proportion of clay particles	Clay
درصد گرم بر صدگرم g/100g (%)	نسبت ذرات سیلت Proportion of silt particles	Silt
درصد گرم بر صدگرم g/100g (%)	نسبت ذرات ماسه Proportion of sand particles	Sand
گرم بر کیلوگرم g/kg	محتوای کربن آلی خاک Soil organic carbon content in the fine earth fraction	SOC
گرم بردسی متر مکعب kg/dm <sup>3</sup>	جرم مخصوص ظاهری Bulk density of the fine earth fraction	BD

شد. مدل‌سازی‌ها با استفاده از بسته biomod2 (Thuiller et al., 2009) در محیط نرم‌افزار R انجام شد. پژوهش‌های متعددی نشان دادند که میانگین چند مدل بهتر از یک مدل واحد عمل می‌کنند (Weiland et al., 2016). بنابراین با بهره‌گیری از این مدل‌ها، مدل ترکیبی (EMw) که از طریق میانگین وزنی، محاسبه می‌شود، استفاده شد (Chen et al., 2017).

#### اعتبارسنجی مدل

در این پژوهش برای ارزیابی قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از ۱۰ تکرار دسته‌بندی تصادفی برای هر یک از پنج مدل پراکنش گونه‌ای استفاده شد. در هر تقسیم تصادفی از

#### مدل‌های پراکنش گونه‌ای

در این پژوهش برای در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از مدل‌های مختلف، از پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته یا GLM (Generalized line Models) مدل جمعی تعمیم‌یافته یا GAM (Gradient Boosting Models)، تحلیل طبقه‌بندی درختی CTA (Gradient Boosting Models) مدل رگرسیون تقویت‌شده یا GBM (Gradient Boosting Models) و روش‌های جنگل تصادفی یا RF (Random Forest) برای پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه بلندمازو در جنگل‌های هیرکانی استفاده

۷۰ درصد داده‌های حضور برای مدل و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی آن استفاده شد. برای بررسی عملکرد مدل‌های مختلف در پیش‌بینی پراکنش گونه بلوط از مقادیر سطح زیر منحنی یا AUC (Area Under the curve) در تحلیل ویژگی عملیاتی پذیرنده یا ROC (Receiver operating characteristic)، آماره مهارت درست یا TSS (True Skill Stat) و شاخص کاپا (Kappa) استفاده شد. از مزایای کاپا، سادگی آن است. حداکثر مقدار کاپا برابر یک است، به این معنی که توافق کامل بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی وجود دارد. در مقادیر صفر احتمال تصادفی یا غیرتصادفی بودن مقادیر واقعی و پیش‌بینی برابر است و منفی نشان‌دهنده غیرواقعی بودن مدل است (Allouche et al., 2006).

## نتایج

نتایج نشان داد که مقدار VIF برای ۱۵ متغیر بالاتر از ۱۰ است و در نتیجه این ۱۵ متغیر از تجزیه و تحلیل حذف می‌شوند و مدل‌سازی با استفاده از باقی‌مانده متغیرها شامل Bio2 (میانگین دمای روزانه)، Bio3 (هم‌دمایی)، Bio8 (میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل سال)، Bio9 (میانگین دما در گرم‌ترین فصل سال)، Bio14 (بارندگی در خشک‌ترین فصل سال)، Bio15 (تغییرات بارندگی فصلی)، Bio19 (بارندگی در سردترین فصل سال)، شیب، شاخص تابش خورشیدی، مقدار شن، اسیدیته، نیتروژن، سیلت، کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری و چگالی کربن آلی انجام شد.

ارزیابی عملکرد مدل‌های پراکنش گونه‌ای در پیش‌بینی پراکنش مکانی

صحت پیش‌بینی پراکنش گونه بلندمازو با استفاده از آماره AUC برای همه مدل‌ها با میانگین ۰/۷ خوب ارزیابی شد (جدول ۴). نتایج مقایسه بین مقادیر هر یک از معیار ارزیابی مدل، برای تعیین مناسب‌ترین مدل

نشان داد که مدل جنگل تصادفی (RF) از نظر معیار ارزیابی مدل با میانگین AUC معادل ۰/۷۶ ( $\pm 0/02$ ) = انحراف معیار) نسبت به دیگر مدل‌ها دارای بهترین عملکرد برای پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه بلندمازو است (جدول ۵). روش مدل‌سازی CTA با مقدار میانگین AUC معادل ۰/۷ ( $\pm 0/02$ ) = انحراف معیار) دارای کم‌ترین موفقیت در پیش‌بینی پراکنش گونه بلندمازو بود.

ارزیابی عملکرد مدل‌ها با استفاده از آماره TSS نیز نشان داد که مدل‌های مورد استفاده دقت خوبی در مدل‌سازی پراکنش گونه بلندمازو دارند. از بین روش‌های مورد بررسی، الگوریتم جنگل تصادفی با میانگین TSS معادل ۰/۴۴ دارای بیش‌ترین موفقیت پیش‌بینی بود و روش مدل‌سازی CTA دارای کمترین مقدار TSS با مقدار میانگین معادل ۰/۲۴ بوده است.

در مدل ترکیبی (EMw) مقدار آماره AUC برابر ۰/۹۸ که نشان‌دهنده عالی بودن صحت مدل است. ضریب کاپا در مدل ترکیبی دارای مقدار ۰/۸۴ محاسبه شد که مقدار توافق بسیار بالای مقادیر مشاهدات و مقادیر پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد.

## تحلیل اهمیت متغیرها

اهمیت یا سهم نسبی هریک از متغیرهای مورد استفاده فرآیند مدل‌سازی برای هریک از مدل‌های برازش شده در شکل ۲ گزارش شد. نتایج حاصل از ارزیابی اهمیت نسبی متغیرها با استفاده از مدل جنگل تصادفی (RF) و رگرسیون تقویت‌شده (GBM) نشان داد که متغیرهای چگالی ظاهری خاک و pH خاک دارای بیشترین تأثیر در پراکنش گونه بلندمازو هستند. متغیرهای شیب و کربن آلی کمترین تأثیر را بر احتمال حضور گونه بلندمازو داشتند. در خصوص مدل‌های خطی (GLM) و جمعی تعمیم‌یافته (GAM) نیز نشان داد که متغیرهای جرم مخصوص ظاهری، Bio15 و Bio19 مهم‌ترین و

براساس نتایج حاصل به ترتیب جرم مخصوص ظاهری خاک (BD)، pH، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) و مجموع بارندگی سردترین فصل سال (Bio19) بیشترین سهم را در تعیین رویشگاه *Q. castaneifolia* داشتند.

متغیرهای Bio8 و درصد شن کم اهمیت‌ترین متغیرها در پراکنش مکانی گونه بلوط بلندمازو در جنگل‌های شمال کشور هستند. نتایج حاصل از مدل CTA نیز نشان داد جرم مخصوص ظاهری بیشترین اهمیت و کربن آلی کم اهمیت‌ترین متغیر در پراکنش گونه بلندمازو هستند.

جدول ۴- صحت پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌ای

Table 5. Accuracy of species spatial distribution prediction

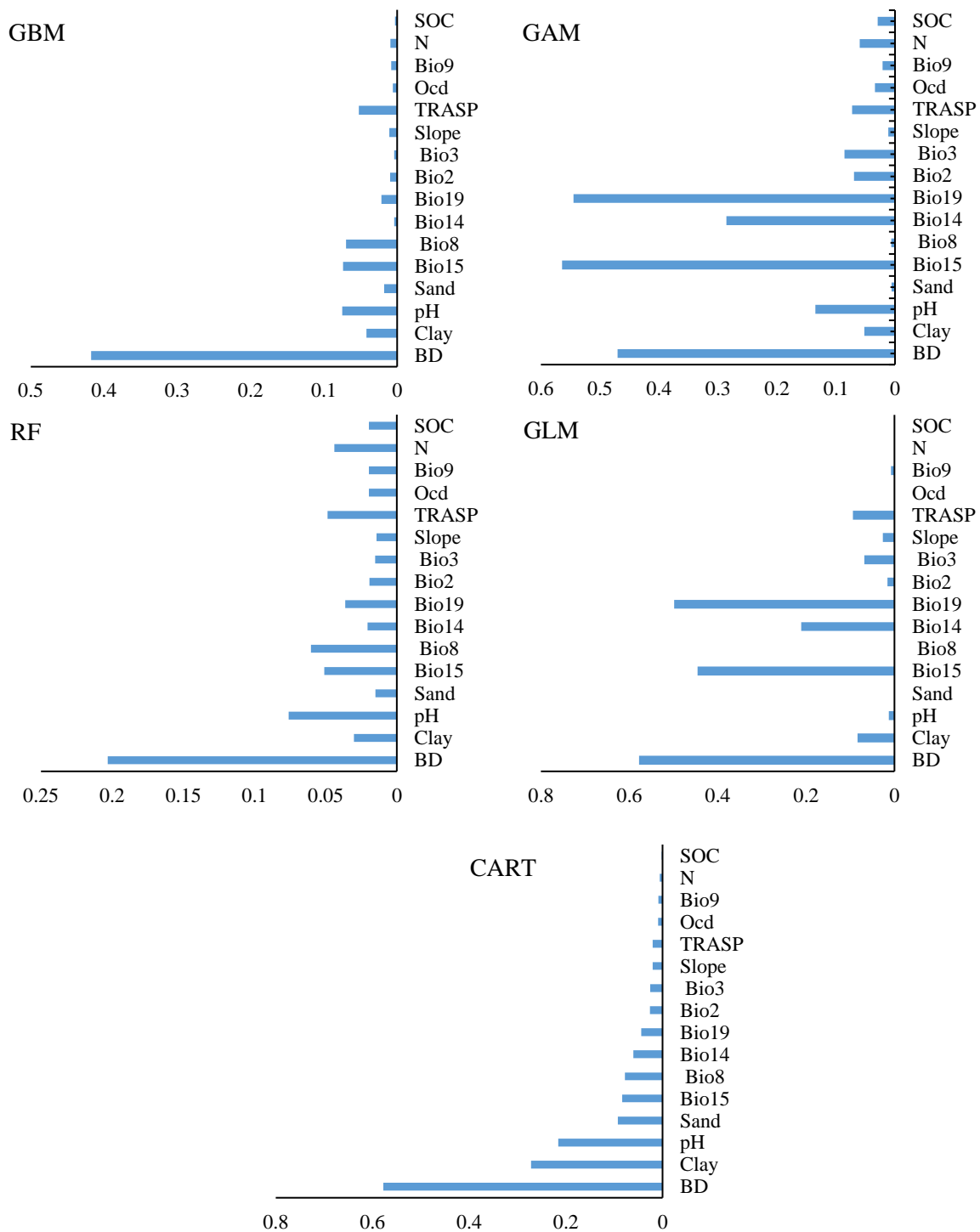
دقت مدل Accuracy of the model	مقدار سطح زیر منحنی (AUC) Area Under the Curve
بسیار عالی Very great	0.9 – 1
عالی Excellent	0.8-0.9
خوب Good	0.7-0.8
متوسط Medium	0.6-0.7
پائین Low	0.5-0.6

جدول ۵- صحت مدل به دست آمده از مقادیر AUC، TSS و Kappa

Table 4. Accuracy of the model obtained from AUC, TSS and KAPPA

مدل Model	EMw mean	RF	GAM	GBM	CTA	GLM	
	0.88	0.54	0.58	0.52	0.44	0.55	TSS
ارزیابی Assessment	0.98	0.76	0.73	0.74	0.7	0.71	AUC
	0.84	0.58	0.53	0.54	0.42	0.51	KAPPA





شکل ۲- اهمیت متغیرهای محیطی مورد بررسی در بسته biomod2 در مدل‌های مورد بررسی (محور X بیانگر اهمیت متغیرها و محور Y بیانگر متغیرها است)

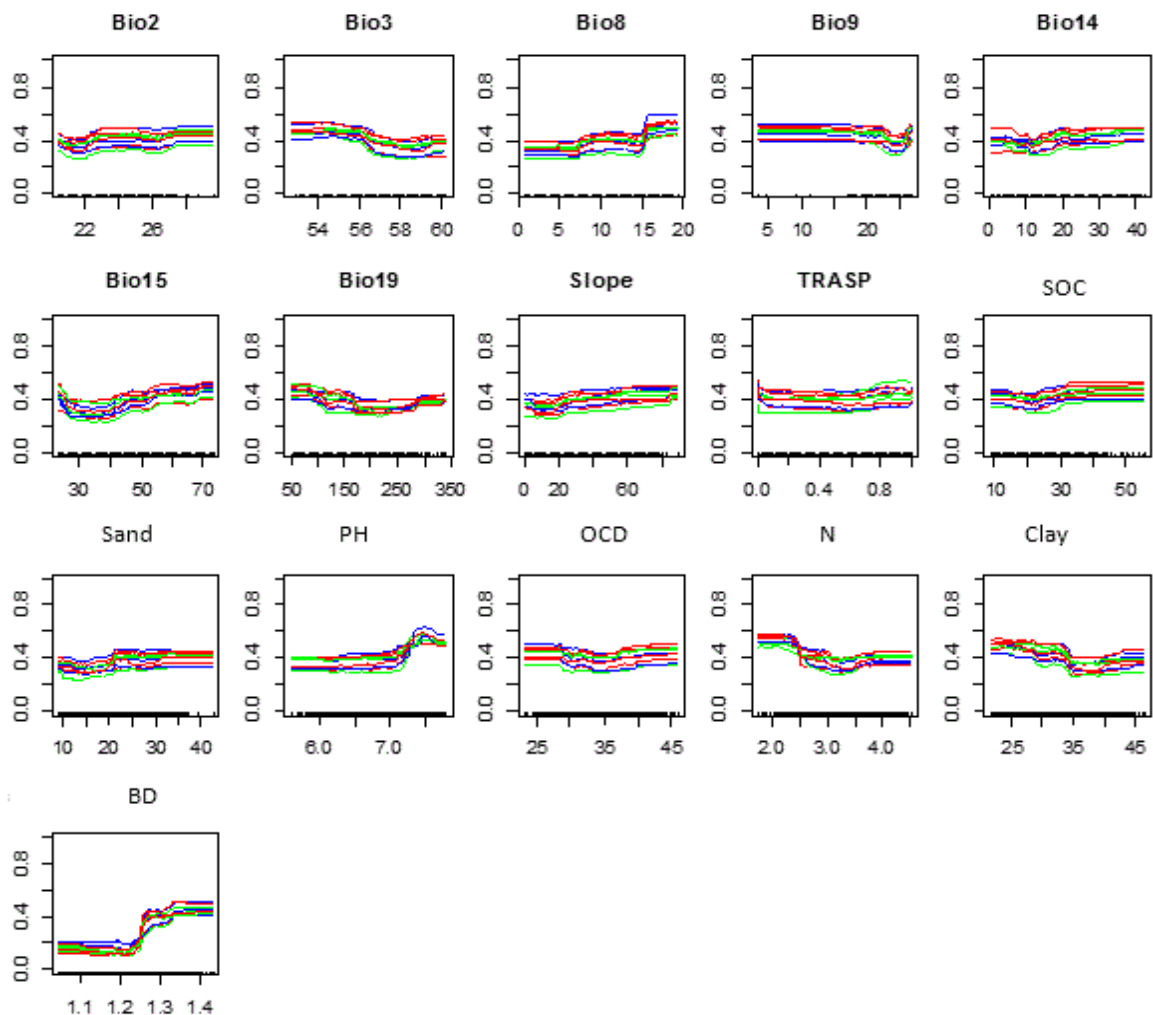
Figure 2. The importance of environmental variables studied in the biomod2 package in the studied models (The x-axis represents the importance of the variables and the y-axis represents the variables)

الگوریتم مناسب در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه بلندمازو پرداخته شد.

پاسخ گونه نسبت به متغیرها در این پژوهش پاسخ گونه بلندمازو نسبت به متغیرهای مورد بررسی توسط مدل جنگل تصادفی (RF)، به‌عنوان

بارندگی فصلی (Bio15) و رفتار کاهشی احتمال حضور نسبت به متغیر بارندگی در سردترین فصل سال (Bio19) دارد. با افزایش یا کاهش متغیرهای نیتروژن خاک، درصد شن و چگالی کربن آلی هیچگونه تأثیری در افزایش احتمال پراکنش این گونه مشاهده نشد. این گونه نسبت به شاخص‌های فیزیوگرافی رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهد؛ به طوری که نسبت به درصد شیب رفتاری تک‌نمایی و چوله به راست و نسبت به شاخص تابش خورشیدی گونه بلندمازو داری رفتار تک‌نمایی چوله به چپ است (شکل ۳).

نتایج نشان داد که گونه بلندمازو در منطقه مورد بررسی نسبت به متغیر جرم مخصوص ظاهری خاک روندی افزایشی دارد. مقدار این متغیر در منطقه مورد بررسی از صفر تا حدود ۱/۴ تغییر می‌کند. نتایج نشان داد که با افزایش وزن ظاهری خاک (از ۱/۲ درصد به بعد) احتمال حضور گونه بلوط نیز افزایش (شکل ۳) و با افزایش درصد رس احتمال حضور گونه بلندمازو کاهش می‌یابد. همچنین در پاسخ به متغیرهای اقلیمی، گونه بلندمازو دارای رفتار افزایشی نسبت به متغیر بارندگی در خشک‌ترین فصل سال (Bio14) و تغییرات



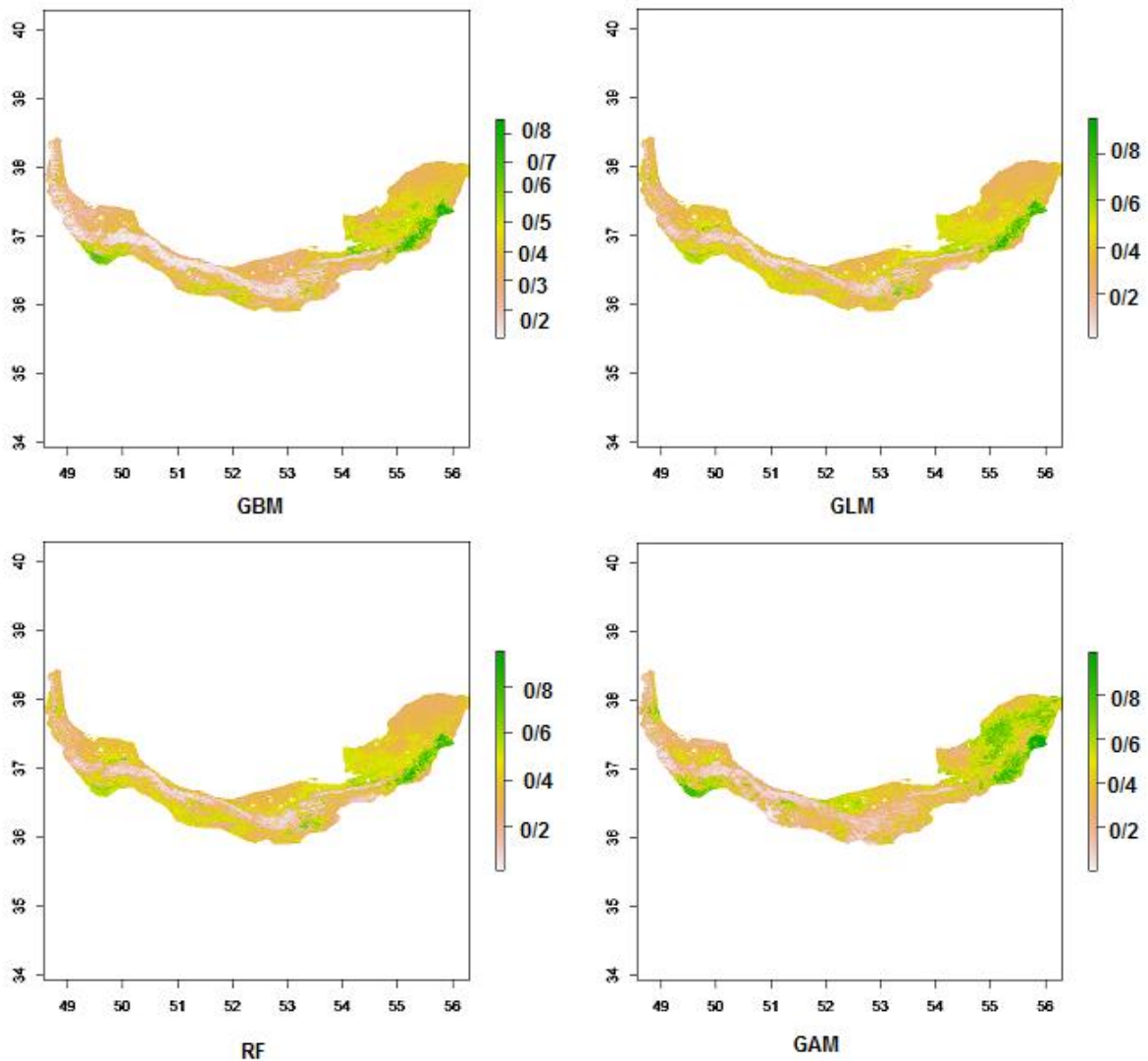
شکل ۳- منحنی‌های پاسخ گونه بلوط نسبت به متغیرهای محیطی در منطقه مورد بررسی (محور Y نمایانگر احتمال حضور گونه و X نمایانگر دامنه تغییرات متغیر است)

Figure 3. Response curve of oak to environmental variables in the study area (Y-axis represents the probability of presence and x-axis represents the scope of variable changes)

بخش‌هایی از استان گیلان (رودبار، رشت، تالش) و گلستان (پارک ملی گلستان) و لکه‌هایی از استان مازندران را در جایگاه مناطقی با بیشترین پتانسیل توزیع، پیش‌بینی کرد.

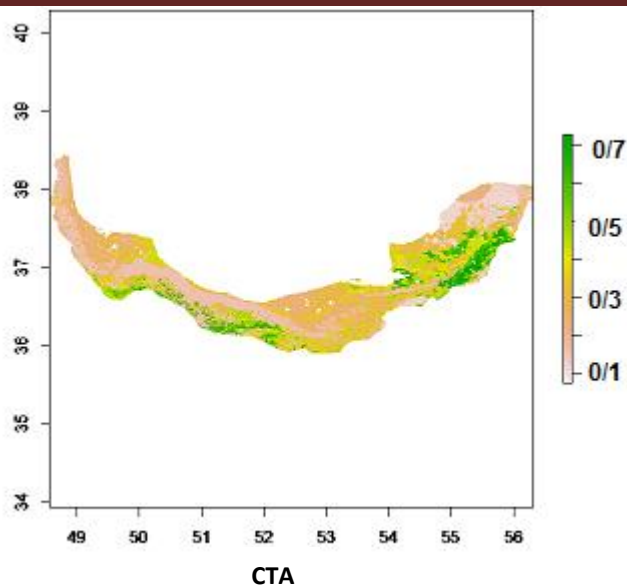
پیش‌بینی رویشگاه مطلوب گونه بلوط بلندمازو با مدل‌های انفرادی

پیش‌بینی مدل‌ها برای گونه بلوط نتایج به نسبت مشابهی را در پی داشت (شکل ۴) نتایج حاصل از این پژوهش با مدل‌های، GLM، GBM، RF نشان داد که



شکل ۴- نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه بلوط بلندمازو با استفاده از مدل‌های RF، GLM، GBM، GAM، CTA (محور Y نمایانگر طول جغرافیایی و محور X نمایانگر عرض جغرافیایی)

Figure 4. Suitability map of *Quercus castaneifoliae* using RF, GLM, GBM, GAM, CTA models (The y-axis represents the longitude and the x-axis represents the latitude)

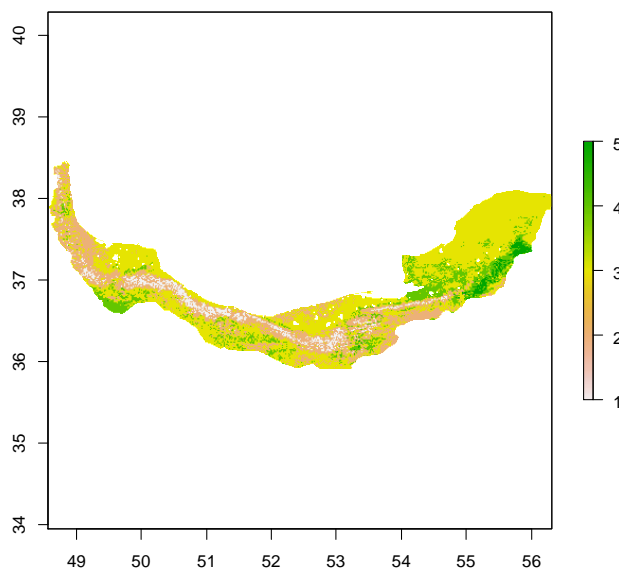


ادامه شکل ۴.

Continued figure 4.

بررسی را دربر می‌گیرد. نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه بلندمازو حاصل از رویکرد ترکیبی نشان می‌دهد که احتمال وقوع گونه بلوط در جنوب غربی و جنوب و شرق هیرکانی بیشتر است. جدول ۷، مساحت مربوط به احتمال وقوع گونه بلندمازو در طبقه‌های مختلف (طبقه ۱ تا ۵) ارائه شده است.

پیش‌بینی پتانسیل توزیع گونه‌ای بلوط با استفاده از مدل ترکیبی نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه بلوط با استفاده از مدل ترکیبی در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در شرایط کنونی، مساحت رویشگاه‌های مطلوب برای گونه بلندمازو برابر با ۱۱۶۶۵۵۷ هکتار است که در حدود ۱۴/۱ درصد منطقه مورد



شکل ۵- نقشه مطلوبیت رویشگاه نهایی گونه بلوط بلندمازو

Figure 5. Final suitability map of *Quercus castaneifolia*

سطح رویشگاه مطلوب این گونه (احتمال وقوع بیش از ۶۰ درصد - طبقه ۴ و ۵) با توجه به نقشه پیش-بینی حاصل از مدل ترکیبی ۱۱۶۶۵۵۷ هکتار است که حدود ۱۴/۶ درصد از کل منطقه مورد بررسی را به خود اختصاص داد.

جدول ۷- مناطق پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی بلوط بلندمازو

Table 7. Geographic distribution prediction areas of *Q. castaneifolia*

عدم پتانسیل No potential	پتانسیل پائین Medium potential	پتانسیل متوسط Medium potential	پتانسیل بالا high potential	پتانسیل خیلی بالا Very high potential	
390445	1980986	1980286	1028130	138427	مساحت (هکتار) Area (ha)
4.9	24	55	12.9	1.74	درصد Percent
<0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	>0.8	احتمال حضور Probability of attendance

#### بحث

شاخص نشان داد که مدل‌ها از صحت و دقت قابل قبولی ( $AUC > 0.7$ ) برخوردارند. در پژوهش ما، نقشه‌های حاصل از مدل‌های مختلف متفاوت بودند ولی هم‌پوشانی بسیاری با هم داشتند. با استفاده از اجماع و ترکیب نتایج حاصل از تمام مدل‌ها نقشه‌ای از مناطق مناسب برای رویشگاه گونه درحال حاضر آماده شد. نتایج مدل‌سازی پراکنش گونه بلندمازو در شرایط اقلیمی فعلی نشان داد که رویشگاه مطلوب گونه بلوط از آستارا تا حوالی گرگان گسترش دارد که این موضوع با محدوده پراکنش ذکرشده توسط Marvi Mohajer (2004) هم‌خوانی دارد. از طرف دیگر انطباق نقاط حضور بر پراکنش گونه بلوط نیز تأییدکننده این موضوع است (Taleshi et al., 2020).

نتایج این پژوهش نشان داد که از ۳۰ متغیر مورد بررسی، ۴ متغیر جرم مخصوص ظاهری خاک، اسیدیته خاک تغییرات بارندگی فصلی و بارندگی در سردترین فصل سال، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه بلوط بلندمازو، بوده و شیب و کربن آلی کمترین تأثیر را بر پراکنش این گونه دارا است.

استفاده از مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای هم تفسیری عینی از شرایط بالقوه زیستگاه و هم فرصتی برای بررسی لکه‌های پوشش گیاهی ارائه می‌دهد که می‌تواند در مدیریت بازسازی و احیای مناطق وسیع آتش‌سوزی شده تحت شرایط تغییر آب و هوا ویا تخریب‌یافته به-وسیله تغییر کاربری، بسیار ارزشمند باشد (Mas et al., 2023). توجه به کمبود مدل‌های توان اکولوژیک رویشگاه‌های هیرکانی، بررسی آن‌ها با تکنیک‌های جدید و ارائه الگوهای مکانی عامل‌های اکولوژیکی منطقه حائز اهمیت است. وضوح پایین SDM ها اغلب دقت پیش‌بینی‌های آن‌ها را کاهش داده است (Ruiz-Labourdette et al., 2012).

این پژوهش با اندازه تفکیک ۹۰ متر انجام شد که منجر به ارزیابی پراکنندگی دقیق گونه بلوط بلندمازو و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر این گونه شد.

مناسب بودن مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش توسط شاخص‌های مختلف سطح زیر منحنی (AUC) پشتیبانی و ارزیابی شد. ارزیابی مدل با استفاده از این

بلندمازو بوده و همچنین با استفاده از خروجی مدل رگرسیون عامل‌های دما، بارش و فرسایش خاک را به- عنوان مهم‌ترین عوامل در ارزیابی قابلیت اکولوژیکی گونه معرفی کردند. همچنین (Hidalgo et al., 2012) بارندگی سالانه و خصوصیات سنگ‌مادر و دامنه شمالی را مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر پراکنش بلوط اعلام کردند.

این درحالی است که تغییرات فصلی دما پژوهش (Liao et al., 2021) بر روی ۷ گونه بلوط سخت‌برگ (Sclerophyllous oak) به‌عنوان مهم‌ترین عامل در پراکنش بلوط معرفی شد. در جنگل‌های هیرکانی گونه بلوط بلن مازو نسبت به تغییرات اقلیمی حساسیت خیلی بالایی ندارد (Taleshi et al., 2020). این گونه به‌نسبت گرم‌پسند است که در ارتفاعات پایین تا میانی دیده می‌شود.

در انتخاب مناسب‌ترین عوامل و گزینه‌ها برای توسعه جنگلکاری در بین عوامل کاربری جنگل، شکل زمین (شیب، جهت و ارتفاع) بیشترین نقش را در ارزیابی دارا هستند. نتایج بررسی ما نشان داد شیب جز عوامل محدود کننده توسعه کشت برای گونه بلوط است. (Moradzadeh et al., 2012) در مورد جنگل‌های بلوط غربی لرستان بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که معیارهای ارتفاع و جهت بیشترین تأثیر را داشتند. (Gholizadeh et al., 2020) تناسب اراضی را برای جنگلداری در شمال شرق ایران ارزیابی کرد و ارتفاع، جهت و عمق خاک و بافت خاک را به‌عنوان محدود کننده‌ترین عوامل را برای توسعه کاشت گونه بلوط در منطقه مورد بررسی بیان کردند.

در بین مدل‌های بررسی شده مدل RF قابل اعتماد-ترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش گونه تعیین شد. نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش حتی برای بررسی یک گونه نیز می‌مکن است از مدلی به مدل دیگر متفاوت باشند.

گزارش‌های متفاوتی از نقش بارندگی بر رویش بلوط موجود است. نتایج بررسی تأثیر خشکسالی بر پویایی زمانی-مکانی جنگل‌های بلوط نشان داد که پهنه پوشش جنگلی بلوط حساسیت قابل توجهی به خشکسالی دارد (Mahmood et al., 2022). بارندگی پیش از فصل رویش با بالا بردن ذخایر آب زیر زمینی می‌تواند به رویش درختان کمک کند. بارندگی قبل از شروع فصل رشد همچنین سبب افزایش فعالیت میکروبی خاک، دسترسی به ذخیره کربن و عناصر مورد نیاز برای رشد درختان شده و رشد شعاعی را افزایش خواهد داد و سبب مطلوبیت رویشگاه برای این گونه خواهد شد (Liao et al., 2021). پژوهش‌های (Hidalgo et al., 2012) و Vessella and Schirone روی پیش‌بینی پراکنش گونه *Quercus Suber* نیز نشان دادند که متغیر زیست اقلیمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه می‌تواند روی پراکنش بالقوه گونه *Q. Suber* مؤثر باشد. توزیع بالقوه گونه بلوط بیشتر تحت تأثیر بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی است. پژوهش‌های محققان نیز نشان داده است که عوامل اقلیمی همچون دما و بارندگی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی در مقیاس بزرگ است (Amisshah et al., 2014; Swaine, 1996; Toledo et al., 2012).

نتایج ما نشان داد مقدار کربن آلی خاک نقشی در پراکنش گونه بلندمازو دارا نیست این در حالی است که به‌علت مقدار بالای کربن آلی خاک تحت پوشش توده-های بلندمازو، این گونه می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه-های مؤثر بر ذخیره‌سازی و حفظ کربن خاک در جنگلکاری‌های آینده مدنظر قرار بگیرد. نتایج حاصل از پژوهش (Babaie Kafaky et al., 2022) نشان داد که به‌طور کلی طبقه‌بندی خاک، بارندگی و دمای متوسط از مهم‌ترین عوامل در ارزیابی قابلیت اکولوژیکی گونه

برای احیاء این جنگل‌ها برداشت. این مدل‌ها به‌ویژه مدل جنگل تصادفی می‌توانند نقش مهمی در پیشنهاد این‌گونه برای عملیات احیاء و توسعه پایدار اکوسیستم‌های جنگلی داشته باشند و یک منبع مطمئن برای مدیران در امر برنامه‌ریزی برای حفاظت و احیای جنگل‌های تخریب شده در منطقه مورد بررسی باشد. در نهایت، پژوهش‌هایی برای شناسایی و ارزیابی عوامل اکولوژیکی مؤثر در حوزه‌های آبخیز مختلف و ارائه مدل ویژه جنگلداری و جنگلکاری در مناطق مختلف جنگل‌های هیرکانی با استفاده از اطلاعات جامع‌تر و به‌روزتر مانند مدل‌های ساختاری، مدل پراکنش گونه‌ای توامان (Joint Species Distribution Model) که وابستگی گونه‌ها را در نظر می‌گیرد، توزیع توده‌های جنگلی با توجه به مشارکت و نقش جوامع محلی و بادر نظر گرفتن بیشتر متغیرهای اجتماعی-اقتصادی و ... توصیه می‌شود.

لازم به‌ذکر است نتایج مدل‌سازی تنها در مقیاس بزرگ قابل توصیه است و در مقیاس عملکرد توده، عمل بر اساس داده‌های سنجش از دوری با خطا روبرو است.

## References

- Ahmadi, K.; Hosseini, S. M.; Tabari, M.; Nouri, Z., Modeling the potential habitat of English yew (*Taxus baccata* L.) in the Hyrcanian forests of Iran. *Forest Research and Development* **2019**, 5 (4), 513-525. (In Persian)
- Allouche, O.; Tsoar, A.; Kadmon, R., Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology* **2006**, 43 (6), 1223-1232.
- Amissah, L.; Mohren, G. M.; Bongers, F.; Hawthorne, W. D.; Poorter, L., Rainfall and temperature affect tree species distribution in Ghana. *Journal of Tropical Ecology* **2014**, 30 (5), 435-446.
- Babaie Kafaky, S.; Kiadaliri, H.; Mataji, A.; Akhavan, R.; Hodjati, S., Assessment of

از آنجا که پیش‌بینی هر مدل بستگی به توابع ریاضی متفاوتی دارد، مدل‌های پراکنش گونه‌ای نتایج مختلفی خواهند داشت. مدل‌های جنگل تصادفی پیش‌بینی خود را با ایجاد هزاران درخت و در مجموع با یک میانگین از آن‌ها انجام می‌دهند، از این‌رو الگوریتم جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست (Cheng et al., 2019). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده تنها مدل جنگل تصادفی می‌تواند عملکردی برابر با میانگین خروجی‌های چندین روش مدل‌سازی داشته باشد (Grenouillet et al., 2011). بنابراین در این پژوهش نیز مدل جنگل تصادفی به‌عنوان مدلی کارآمد و روش اجماعی روشی مطلوب شناخته شدند. (Taleshi et al., 2020) با مطالعه اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه بلوط نیز روش مدل‌سازی RF را به‌عنوان بهترین روش معرفی کردند. در نتیجه این مدل توانایی بالایی در برنامه‌ریزی‌های احیایی برای این گونه دارد (Liao et al., 2021; Taleshi et al., 2020).

## نتیجه‌گیری کلی

از مدل‌های مطلوبیت رویشگاه می‌توان رویشگاه‌های بالقوه برای گونه بلندمازو را شناسایی و گامی مثبت

- ecological capability and decline of *Quercus castaneifolia* CAM habitat in Hyrcanian forests (Case study: Savadkooh). *International Journal of Environmental Science and Technology* **2022**, 1-14.
- Chen, W.; Pourghasemi, H. R.; Kornejady, A.; Zhang, N., Landslide spatial modeling: Introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning techniques. *Geoderma* **2017**, 305, 314-327.
- Cheng, L.; Chen, X.; De Vos, J.; Lai, X.; Witlox, F., Applying a random forest method approach to model travel mode choice behavior. *Travel behaviour and society* **2019**, 14, 1-10.
- Clewell, A. F. In *Ecological restoration principles relative to *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser (Nothofagaceae) forest restoration*, Anales del Instituto de la Patagonia, SciELO Chile: 2015; pp 123-126.



- Çoban, H. O.; Örucü, Ö. K.; Arslan, E. S., MaxEnt modeling for predicting the current and future potential geographical distribution of *Quercus libani* Olivier. *Sustainability* **2020**, *12* (7), 2671.
- García-Quijano, J. F.; Deckmyn, G.; Ceulemans, R.; Van Orshoven, J.; Muys, B., Scaling from stand to landscape scale of climate change mitigation by afforestation and forest management: a modeling approach. *Climatic Change* **2008**, *86*, 397-424.
- Gholizadeh, A.; Bagherzadeh, A.; Keshavarzi, A., Model application in evaluating land suitability for OAK and PINE forest plantations in Northeast of Iran. *Geology, Ecology, and Landscapes* **2020**, *4* (3), 236-250.
- Grenouillet, G.; Buisson, L.; Casajus, N.; Lek, S., Ensemble modelling of species distribution: the effects of geographical and environmental ranges. *Ecography* **2011**, *34* (1), 9-17.
- Haidarian Aghakhani, M.; Tamartash, R.; Jafarian, Z.; Tarkesh Esfahani, M.; Tatian, M., Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus brantii*) using species distribution modelling in central Zagros for conservation planning. *Journal of Environmental Studies* **2017**, *43* (3), 497-511. (In Persian)
- Hengl, T.; Mendes de Jesus, J.; Heuvelink, G. B.; Ruiperez Gonzalez, M.; Kilibarda, M.; Blagotić, A.; Shangguan, W.; Wright, M. N.; Geng, X.; Bauer-Marschallinger, B., SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one* **2017**, *12* (2), e0169748.
- Herbohn, J.; Ota, L.; Gregorio, N.; Chazdon, R.; Fisher, R.; Baynes, J.; Applegate, G.; Page, T.; Carias, D.; Romero, C., The community capacity curve applied to reforestation: a framework to support success. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **2023**, *378* (1867), 20210079.
- Hidalgo, P.; Marín, J.; Quijada, J.; Moreira, J., A spatial distribution model of cork oak (*Quercus suber*) in southwestern Spain: A suitable tool for reforestation. *Forest Ecology and Management* **2008**, *255* (1), 25-34.
- Kjučukov, P.; Hofmeister, J.; Bače, R.; Vítková, L.; Svoboda, M., The effects of forest management on biodiversity in the Czech Republic: an overview of biologists' opinions. *iForest-Biogeosciences and Forestry* **2022**, *15* (3), 187.
- Liao, Z.; Nobis, M. P.; Xiong, Q.; Tian, X.; Wu, X.; Pan, K.; Zhang, A.; Wang, Y.; Zhang, L., Potential distributions of seven sympatric sclerophyllous oak species in Southwest China depend on climatic, non-climatic, and independent spatial drivers. *Annals of Forest Science* **2021**, *78* (1), 1-22.
- Mahmoodi, S.; Ahmadi, K.; Zahravi, M.; Karami, O., Modeling of Iranian oak distribution in the southwest of Iran based on the presence-based approach Maximum Entropy (MaxEnt). *Forest Research and Development* **2022**, *8* (2), 113-131. (In Persian)
- Mahmoudvand, S.; Khodayari, H.; Tarnian, F., Habitat modeling and determination of environmental factors affecting on distribution of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) in forest habitats of Lorestan Province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* **2021**, *9* (18), 363-388.
- Marvi-Mohajer, M. *Silviculture*. University of Tehran Press, Iran, 2004; 378p. (In Persian)
- Mas, B.; Riera, S.; Allué, E., Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: The case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario. *Ecological Informatics* **2023**, *74*, 101984.
- McIver, J. D.; Starr, L., A literature review on the environmental effects of postfire logging. *Western Journal of Applied Forestry* **2001**, *16* (4), 159-168.
- McLaughlin, B. C.; Zavaleta, E. S., Predicting species responses to climate change: demography and climate microrefugia in California valley oak (*Quercus lobata*). *Global change biology* **2012**, *18* (7), 2301-2312.
- Mirzaei, M.; Bonyad, A. E.; Akhavan, R.; Naghdi, R., Decline modelling of *Quercus brantii* under effects of physiographic factors in Dalab forests of Ilam. *Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 329-342. (In Persian)
- Moradzadeh, F.; Babaei-Kafaki, S.; Mataji, A., Assessment of ecological competence of surface expansion through GIS (Case Study: Dadabad District in Lorestan Province). *Natural Resources Research* **2012**, *2* (4), 11-23. (In Persian)
- Naimi, B.; Araújo, M. B., sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography* **2016**, *39* (4), 368-375.



- Nasiri, V.; Beygi Heidarlou, H.; Alchin, A. A.; Moradi, F.; Rahmanian, S.; Afshari, S.; Maftai, C.; Griess, V.C., How do conservation policies, climate and socioeconomic changes impact Hyrcanian forests of northern Iran? *Ecological Informatics* **2023**, 78, 102351.
- Pakzad, M.; Eslami, A., Site selection of suitable land for plantation development of *Prosopis cineraria* species using GIS (Case study: Rahmatabad watershed, Kerman province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources* **2017**, 8 (2), 48-61. (In Persian)
- Rashidi, F.; Naseri, D., Evaluation and zoning for reforestation using the ANP fuzzy method (case study: Saezchichay Watershed, Ardabil, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, 28 (1), 61-72. (In Persian)
- Ruiz-Labourdette, D.; Nogués-Bravo, D.; Ollero, H. S.; Schmitz, M. F.; Pineda, F. D., Forest composition in Mediterranean mountains is projected to shift along the entire elevational gradient under climate change. *Journal of Biogeography* **2012**, 39 (1), 162-176.
- Safaei, M.; Tarkesh Esfahani, M., Habitat protection of *Ferula Ovina* Boiss. as a medicine plant using habitat potential modeling (suggested model: ecological niche factor analysis). *Journal of Plant Ecosystem Conservation* **2013**, 1 (1), 105-122. (In Persian)
- Santoro, A.; Venturi, M.; Bertani, R.; Agnoletti, M., A review of the role of forests and agroforestry systems in the FAO Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) programme. *Forests* **2020**, 11 (8), 860.
- Sharifian, S.; Rezvani, M.; Rashidi, F., Ecological Capability for Forest Development Using AHP (Arangeh Watershed, Alborz Town. *Journal of Environmental Science and Technology* **2020**, 22 (6), 221-233. (In Persian)
- Swaine, M., Rainfall and soil fertility as factors limiting forest species distributions in Ghana. *Journal of Ecology* **1996**, 419-428.
- Tabibian, S.; Hashemi, A.; Firouzan, A.; HakimiAbed, M.; Bidarigh, S.; Kavusi, H., Assessing Ecological Capacity for Afforestation and Increasing Forest area Use Gamma and AHP Operator Efficiency. *Journal of Environmental Science and Technology* **2020**, 22 (1), 49-60. (In Persian)
- Taleshi, H.; Jalali, S. G.; Alavi, S. J.; Hosseini, S. M.; Naimi, B., Projection of climate change impacts on potential distribution of chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* CAM) using ensemble modeling in the Hyrcanian forests of Iran. *Ecology of Iranian Forest* **2020**, 8 (15), 10-21. (In Persian)
- Taleshi, H.; Maasoumi-Babarabi, M., Leaf morphological variation of *Quercus brantii* Lindl. along an altitudinal gradient in Zagros forests of Fars Province, Iran. *European Journal of Experimental Biology* **2013**, 3 (5), 463-468.
- Thuiller, W.; Lafourcade, B.; Engler, R.; Araújo, M. B., BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* **2009**, 32 (3), 369-373.
- Toledo, M. M.; Paiva, E. A. S.; Lovato, M. B.; de Lemos Filho, J. P., Stem radial increment of forest and savanna ecotypes of a Neotropical tree: relationships with climate, phenology, and water potential. *Trees* **2012**, 26 (4), 1137-44.
- Vessella, F.; Schirone, B., Predicting potential distribution of *Quercus suber* in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements. *Forest Ecology and Management* **2013**, 304, 150-161.
- Wieland, V.; Afanasyeva, E.; Kuete, M.; Yoo, J., New methods for macro-financial model comparison and policy analysis. *Handbook of Macroeconomics* **2016**, 2, 1241-1319.
- Zhang, M.-G.; Zhou, Z.-K.; Chen, W.-Y.; Slik, J. F.; Cannon, C. H.; Raes, N., Using species distribution modeling to improve conservation and land use planning of Yunnan, China. *Biological Conservation* **2012**, 153, 257-264.

## Determining the habitat suitability of *Quercus castaneifolia* C. A. Mey In order to plan restoration using species distribution modeling

Farzaneh Moghbel Esfahani<sup>1</sup>, Seyed Jalil Alavi<sup>\*2</sup>, Seyed Mohsen Hosseini<sup>3</sup> and Masoud Tabari Kochaksarai<sup>4</sup>

1- Ph.D. student of Forestry, Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, I. R. Iran. (farzaneh.moghbel@modares.ac.ir)

2- Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, I. R. Iran. (j.alavi@modares.ac.ir)

3- Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, I. R. Iran. (hossini@modares.ac.ir)

4- Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, I. R. Iran. (mtabari@modares.ac.ir)

Received: 23 February 2023

Accepted: 21 June 2023

### Abstract

Despite the potential of the Hyrcanian forests to maintain of *Quercus castaneifolia*, the abundance of this species has decreased drastically and most of the young stands of this species are seriously threatened. This research, using an integrated perspective, shows the distribution *Q. castaneifolia* species in the Hyrcanian forest with the aim of determining the optimal areas for reforestation using five different modeling methods including GAM, GLM, RF, CTA, and GBM. Rainfall and temperature maps are based on data collected from a network of weather stations, as well as soil data from Soil Grade database maps. Then, the most important independent variables affecting the distribution *Q. castaneifolia* were identified. The results obtained from the evaluation of the relative importance of the variables indicate that the amount of organic carbon, pH, changes in seasonal rainfall and rainfall in the coldest season of the year have the greatest relative importance in determining and developing the habitat of this species and the area has a favorable potential of 14.1 The percentage is for this species. The produced habitat suitability map is suggested as a basis for future forest restoration plans, especially in areas that are more affected by destruction.

**Keywords:** Suitable habitats, Primary and secondary topographic attributes, Afforestation.

---

\* Corresponding author

Tel: +989111580097