فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۸، شماره ۲، صفحه ۱۱۳-۱۳۱، (۱۴۰۱)
DOI: 10.30466/jfrd.2021.53916.1576
DOR: 20.1001.1.24763551.1401.8.2.1.1

مقالهٔ پژوهشی

مدل‌سازی پراکنش بلوط ایرانی در جنوب غرب ایران بر اساس روش مبتنی بر حضور حداکثر آنتروپی

شیرین محمودی*[۱]، کورش احمدی[۲]، مهدی زهراوی[۳] و امید کرمی[۴]

۱- دکتری، مرکز ملی مدیریت منابع ژنتیکی کشاورزی و منابع‌طبیعی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (shirin.mahmoodi@ut.ac.ir)
۲- دکتری اکولوژی جنگل، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (kouroshahmadi66@yahoo.com)
۳- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (mzahravi@yahoo.com)
۴- کارشناس، اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان ایلام، ایلام، ایران. (omid64karami@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

چکیده

آگاهی از پویایی و پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی یک استراتژی مهم برای حفاظت از تنوع زیستی است. مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی یکی از روش‌های مهم در این زمینه است که از شاخص‌های مناسب برای تشخیص روابط متغیرهای مختلف زیست‌محیطی و ارزیابی مطلوبیت زیستگاه برای یک گونه خاص استفاده می‌کند. در این بررسی برای شناسایی مناطق مناسب برای حضور گونه بلوط ایرانی که یکی از مهم‌ترین گونه‌های درختی در جنگل‌های زاگرس در ایران است، از مدل پراکنش گونه‌ای حداکثر آنتروپی استفاده شد. از ۱۶ متغیر محیطی شامل متغیرهای توپوگرافی، اقلیمی و خاکی به‌عنوان متغیرهای مستقل و نقاط حضور گونه بلوط ایرانی به‌عنوان متغیر پاسخ استفاده شد. برای ارزیابی مدل از معیار سطح زیر منحنی (AUC) استفاده شد. برای تعیین و ارزیابی اهمیت متغیرهای محیطی از روش جک‌نایف (Jackknife) استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) دارای کارایی بالایی با مقدار سطح زیر منحنی (AUC) ۰/۹۸ بود و متغیرهای متوسط دمای سالیانه، ارتفاع، و بارندگی در چارک مرطوب سال اهمیت بیشتری دارند. همچنین متغیرهای جهت و NDVI کمترین اهمیت را در ساخت مدل داشتند. همچنین در این پژوهش نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه بلوط ایرانی در منطقه مورد بررسی تهیه شد که می‌تواند یک منبع مطمئن برای مدیران در امر برنامه‌ریزی برای حفاظت و احیای جنگل‌های تخریب شده در منطقه مورد بررسی باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکنش جغرافیایی، جک نایف، دینارکوه، آشیان اکولوژیک.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۳۰۱۹۵۱۲۶۰

مقدمه

رشد جمعیت انسانی، تغییر کاربری اراضی، تخریب و تکه‌تکه‌شدن زیستگاه، بهره‌برداری بیش از حد از اراضی طبیعی و هجوم گونه‌های گیاهی بیگانه از عوامل مهم انقراض گونه‌ها در سراسر جهان است. در نتیجه، یک پنجم گونه‌های گیاهی به‌دلیل این عوامل در معرض خطر انقراض و ازبین‌رفتن رویشگاه قرار دارند. بدیهی است که ازبین‌رفتن هر گونه می‌تواند اثرهای منفی قابل‌توجهی بر عملکرد اکوسیستم بگذارد. احیا رویشگاه یکی از اقدامات اساسی برای حفاظت از گونه‌های گیاهی است و یکی از الزامات این اقدامات آگاهی از پراکنش گونه‌ها در هر منطقه است. بنابراین، درک روابط گونه‌ها با عوامل محیطی و پیش‌بینی تغییرات آن به یکی از چالش‌های اساسی بوم‌شناسان تبدیل شده است (Kong et al., 2021). از این‌رو آگاهی از مطلوبیت رویشگاه گونه‌های در معرض خطر و نیازهای رویشگاهی آن‌ها بخش مهمی از اقدامات حفاظت از گونه‌ها است. با استفاده از نقشه‌های مطلوبیت رویشگاه و شناسایی مناطقی که هر گونه پتانسیل حضور دارد، به‌ویژه برای گونه‌هایی که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و تخریب قرار دارند، امکان بازسازی و احیا فراهم می‌شود.

مدل‌سازی پراکنش گونه (Species Distribution Model) یکی از روش‌های مهم در این زمینه است که از شاخص‌های مناسب برای تشخیص روابط متغیرهای مختلف زیست‌محیطی و ارزیابی مطلوبیت زیستگاه برای یک گونه خاص استفاده می‌کند. بنابراین، دانش در مورد مطلوبیت زیستگاه برای توسعه اقدامات حفاظت بلندمدت، مورد توجه بوم‌شناسان قرار دارد (Ma and Sun, 2018). الگوریتم‌های مدل‌سازی بی‌شماری مانند CLIMEX، GARP، حداکثر آنتروپی (MaxEnt) و BIOMAPPER برای بررسی پاسخ‌های زیست‌محیطی، نیازهای بوم‌شناسی و مناطق توزیع، پیش‌بینی کیفیت زیستگاه و شبیه‌سازی توزیع مکانی گونه‌های گیاهی و الگوی مکانی تنوع گیاه تحت تأثیر عوامل محیطی وجود دارد (Hirzel, 2002). در واقع، این الگوریتم‌ها متغیرهای قابل پیش‌بینی و همچنین ارتباط آن‌ها با متغیر پاسخ را تعیین می‌کنند و همچنین مطلوبیت زیستگاه را برای یک گونه خاص در مناطق پراکنش آن‌ها پیش‌بینی می‌کنند. بهبود الگوریتم‌های مدل‌سازی به استفاده گسترده از مدل‌های مطلوبیت زیستگاه در بررسی مسائل زیست‌محیطی، جغرافیای زیستی، حفاظت و مدیریت گونه کمک می‌کند (Bradly et al., 2012). تاکنون در پژوهش‌های بسیاری از مدل‌های پراکنش گونه‌ای با اهداف مختلف مانند حفاظت از گونه‌ها (Ferraz et al., 2012) و شناسایی مناطق مطلوب برای احیا و بازسازی گونه‌های مختلف (Barnes and Delborne, 2019) در نقاط مختلف دنیا استفاده شده است. Jensen et al. (2020) به‌منظور شناسایی مناطق مناسب جنگلکاری در چین از مدل‌های پراکنش گونه‌ای استفاده کردند و مناطق دارای پتانسیل بالا را برای کاشت گونه سرخدار شناسایی کردند. Yang et al. (2013) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی به بررسی مناطق مناسب برای بازسازی گونه گیاهی *Justicia adhatoda* L. در چین پرداختند. اگرچه در ایران و به‌ویژه در جنگل‌های شمال و ارسباران پژوهش‌های زیادی در زمینه مدل‌سازی پراکنش گونه‌های درختی انجام شده است اما هدف بیشتر این پژوهش‌ها بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های درختی بوده است (Ahmadi et al., 2020). Alavi et al. (2019) با

استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای به بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه در معرض خطر سرخدار در جنگل‌های هیرکانی پرداختند. Taleshi et al. (2019) اثر تغییر اقلیم را بر تنوع درختان جنگلی شمال ایران بررسی کردند. Ahmadi et al. (2020a) به بررسی اثرهای تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سرخدار با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای و جهانی در جنگل‌های هیرکانی پرداختند. متاسفانه پژوهش‌هایی با هدف حفاظت و شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالا برای احیا گونه‌های درختی تخریب‌شده در ایران و به‌ویژه مناطقی غربی کشور معدود است.

مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) برای ارزیابی نیاز اکولوژیکی، پاسخ‌های زیست‌محیطی و مطلوبیت رویشگاه گونه‌های مختلف استفاده می‌شود. این مدل در مقیاس‌های کوچک و به‌خصوص زمانی که تعداد نمونه زیاد نباشد نسبت به دیگر مدل‌ها دارای عملکرد بهتری است (Phillips and Dudík, 2008). از مزایای این روش نسبت به دیگر روش‌ها این است که این روش هم برای داده‌های پیوسته و هم گسسته قابل استفاده است و همچنین به سادگی، سرعت عمل بالا و توانایی بالای آن در پیش‌بینی اطلاعات ناقص این روش نیز اشاره کرد (Hoffman et al., 2008). مطابق با این روش هر سلول یک ارزش دارد که تابعی از متغیرهای زیست‌محیطی است و سلول‌هایی که ارزش بالایی دارند نشان‌دهنده مطلوبیت بالای آن برای گونه مورد بررسی است. مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه به‌منظور شناسایی مناطق مطلوب برای استقرار گونه در رویشگاه بسیار حائز اهمیت است. با استفاده از این روش می‌توان تنوع زیستی را حفاظت کرد و همچنین می‌توان مناطق مطلوب برای جنگلکاری و دیگر اقدامات احیا و حفاظت تعیین نمود.

تعیین عوامل اصلی محیطی در شکل‌گیری پراکنش گونه‌های گیاهی اقدامات اساسی برای حفاظت و توسعه گونه‌های گیاهی با ارزش است (Ahmadi et al., 2020b). به‌دلیل نگرانی‌های جدی در مورد تغییر شرایط محیطی در جهان، مانند غرب ایران و تأثیر آن بر پوشش گیاهی و در نتیجه زندگی مردم بومی و دیگر موجودات زنده در منطقه، تمایل زیادی به ایجاد پیش‌بینی‌ها برای درک وضعیت پراکنش جوامع گیاهی وجود دارد (Qin et al., 2020). این بررسی با هدف پیش‌بینی توزیع جغرافیایی بالقوه فعلی گونه بلوط در غرب ایران انجام شده است. داده‌های حضور و متغیرهای زیست اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت و یک مدل پیش‌بینی با استفاده از مدل حداکثرآنتروپی در نرم‌افزار MaxEnt ایجاد شد و در نهایت نقشه پتانسیل حضور گونه بلوط ایرانی در منطقه به‌منظور حفاظت و احیای این گونه با ارزش شناسایی شد. همچنین در این بررسی تلاش شد که به سوالات زیر پاسخ داده شود:

مهم‌ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر توزیع گونه بلوط ایرانی کدامند؟

آیا مدل MaxEnt کارایی بالایی در پراکنش گونه بلوط ایرانی دارد؟

نتایج این بررسی به درک بهتر فرایندها و مکانیسم های سازگاری و انتشار زیست شناسی در شرایط پیچیده محیطی کمک می کند و مبانی نظری و پایه‌ای برای مدیریت بهتر پوشش گیاهی در منطقه را فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

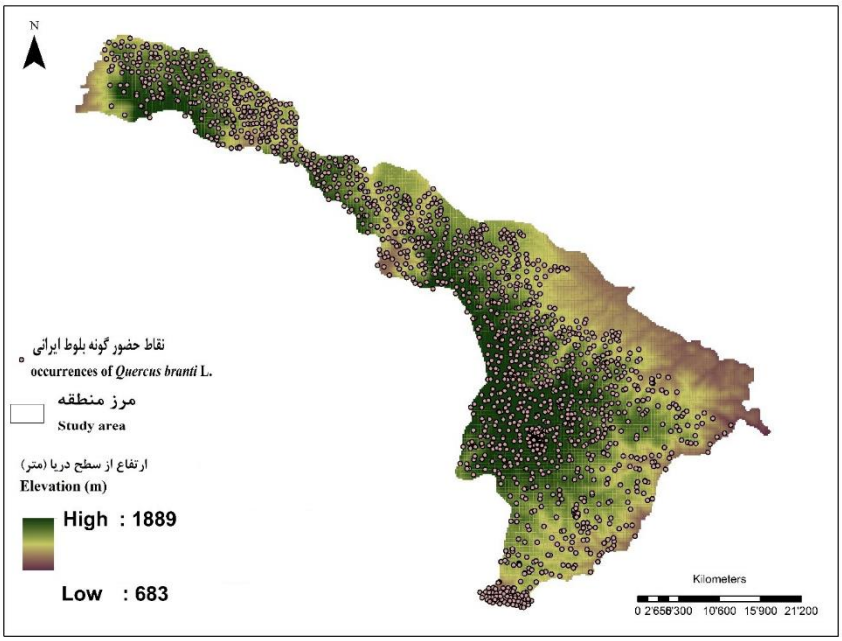
منطقه مورد بررسی

مساحت منطقه حفاظت‌شده دینارکوه تقریبا ۴۰۷۷۹ هکتار است. این منطقه کوهستانی جنگلی، در استان

ایلام شهرستان آبدانان واقع شده است (شکل ۱). مختصات جغراقیایی منطقه ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی ۳۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی است. این منطقه در محدوده ارتفاعی از ۵۴۰ تا ۱۹۵۵ متر از سطح دریا قرار دارد و متوسط بارندگی سالانه این منطقه حدود ۲۹۲/۲ میلی‌متر بوده و بیشتر به‌صورت بارش باران است. دوره خشکی منطقه از اواسط اردیبهشت تا آبان است متوسط دمای سالیانه ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد است. میانگین رطوبت نسبی ۳۸/۸ درصد است. منطقه دارای اقلیم بیابان گرم است (ادراه کل حفاظت از محیط زیست استان ایلام، ۱۳۹۳). این منطقه آخرین نقطه پراکنش بلوط در جنوب غرب کشور محسوب می‌شود و مهم‌ترین توده جنگلی این منطقه جنگل‌های بلوط ایرانی است.

در این پژوهش از الگوریتم حداکثر آنتروپی برای تهیه نقشه مطلویت رویشگاه بلوط ایرانی (*Quercus branttis* L.) استفاده شد. تعداد نقاط حضور در الگوریتم حداکثر آنتروپی به عوامل متعددی مانند مقدار یکنواختی منطقه مورد بررسی از نظر شیب، ارتفاع و همچنین مقدار تخصصی‌بودن گونه مورد بررسی و آشیان بوم‌شناختی گونه بستگی دارد. بررسی Hirzel et al. (2002) نشان داد که ۲۰ الی ۳۰ نقطه حضور نتایج مشابه و قابل‌اعتمادی را با ۱۰۰ نقطه حضور ارائه می‌دهند. نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی در طی قدم زدن در طول مسیر با مشاهده مستقیم گونه انجام شد. پس از بررسی اولیه و پیمایش صحرایی مناطقی که گونه بلوط ایرانی حضور داشتند، شناسایی شد و با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی GPS مختصات جغرافیایی آن‌ها ثبت شد. ۱۳۹۵ نقطه حضور ثبت شد. بعد از جمع‌آوری اطلاعات با توجه به هدف پژوهش برای مدل‌سازی رویشگاه گونه مورد بررسی از روش مدل‌سازی حداکثر آنتروپی (MaxEnt) استفاده شد. از ۱۶ متغیر محیطی شامل شیب، جهت، ارتفاع، تشعشع خورشیدی، نقشه پوشش زمین، فاصله از روستا، تیپ خاک، زمین شناسی، شاخص پوشش گیاهی NDVI (مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای MODIS)، محدوده متوسط روزانه (میانگین ماهانه (حداکثر دما – حداقل دما) (bio2)، ایزوترمال (bio3)، (bio7)، متوسط درجه حرارت سالیانه (bio1) و فاصله از رودخانه، بارش خشک‌ترین سه ماهه (bio17)، بارش سه ماهه مرطوب (bio16)، استفاده شد. از مدل رقومی ارتفاع برای ساخت متغیرهای شیب و جهت با استفاده از جعبه ابزار Spatial analyst tool در نرم‌افزار ArcGIS 10.4 استفاده شد. در میان ۱۹ متغیر اقلیمی، آزمون همبستگی پیرسون انجام شد. این آزمون در نرم‌افزار GIS و با استفاده از دستور Principal Component Analysis انجام شد. به‌علت همبستگی بالای ۰/۷ موجود در بین برخی متغیرها، ۱۳ متغیر حذف شد و ۶ متغیر اقلیمی شامل، محدوده متوسط روزانه (میانگین ماهانه (حداکثر دما – حداقل دما) (bio2)، ایزوترمال (bio3)، (bio7)، متوسط درجه حرارت سالیانه (bio1)، بارش خشک‌ترین سه ماهه (bio17)، بارش سه ماهه مرطوب (bio16) انتخاب شدند. همه لایه‌ها باید مرز و اندازه سلول یکسانی داشته باشند. لایه‌های زیست‌محیطی به فرمت ascii با اندازه سلول ۱ کیلومتر تهیه شدند. مدل‌سازی بر اساس رابطه ۱ انجام شد و این فرمول براساس تعداد متغیرهای زیست‌محیطی (۱۶متغیر) است و همچنین مدل ۱۰ بار اجرا شد. در روش مدل‌سازی حداکثر آنتروپی برای تهیه نقشه رویشگاه، از ۷۵ درصد نقاط حضور در اجرای مدل آموزش و ۲۵ درصد برای آزمون مدل استفاده شد. این روش برای همه متغیرهای موجود در مدل، منحنی پاسخ ایجاد می‌کند و برای

ارزیابی کیفیت کلی مدل تحلیل سطح زیر منحنی (AUC) انجام شد. اگر مقدار AUC مدل برابر یک باشد نشان‌دهنده پیش‌بینی کامل مدل است، اگر مقدار آن بالاتر از ۰/۹ باشد نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب مدل است و اگر بالاتر از ۰/۸ باشد، نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل و اگر بالاتر از ۰/۷ باشد بیانگر عملکرد قابل‌قبول مدل است. همچنین از تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده (ROC) برای ارزیابی مدل استفاده شد. به‌منظور تعیین اهمیت متغیرهای محیطی از روش جک‌نایف (Jackknife) استفاده شد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد بررسی (منطقه حفاظت‌شده دینارکوه)

Figure 1. Study area map (Dinarkouh protected area)

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در ساخت مدل

Table 1. Variables used for modeling

نوع Type	اختصار Abbreviations	تشریح Description	واحد Unit	منبع Source
اقلیمی Bioclimatic	Bio1	میانگین دمای سالانه Annual mean temperature	درجه سانتیگراد °C	www.worldclim2.org (Fick et al., 2017)
	Bio2	میانگین دامنه دمای روزانه Mean diurnal range	درجه سانتی‌گراد °C	
	Bio3	ایزوترمال Isothermality	بدون واحد Unitless	
	Bio4	دمای فصلی Temperature seasonality	بدون واحد Unitless	
	Bio5	حداکثر دما گرمترین ماه سال Max temperature for warmest month	درجه سانتی‌گراد °C	

ادامهٔ جدول ۱.

Comtined table 1.

نوع Type	اختصار Abbreviations	تشریح Description	واحد Unit	منبع Source
اقلیمی Bioclimatic	Bio6	حداقل دما سردترین ماه سال Min temperature for coldest month	درجه سانتی‌گراد °C	www.worldclim2.org (Fick et al., 2017)
	Bio7	دامنه دمای سالیانه Temperature annual range	درجه سانتی‌گراد °C	
	Bio8	میانگین دمای مرطوب‌ترین سه ماه Mean temperature of wettest quarter	درجه سانتی‌گراد °C	
	Bio9	میانگین دمای خشک‌ترین سه ماهه Mean temperature of driest quarter	درجه سانتی‌گراد °C	
	Bio10	میانگین دمای گرم‌ترین سه ماهه Mean temperature of warmest quarter	درجه سانتی‌گراد °C	
	Bio11	میانگین دمای سردترین سه ماهه Mean temperature of coldest quarter	درجه سانتی‌گراد °C	
	Bio12	بارش سالیانه Annual precipitation	میلی‌متر mm	
	Bio13	بارش گرم‌ترین ماه Precipitation of wettest month	میلی‌متر mm	
	Bio14	بارش خشک‌ترین ماه Precipitation of driest month	میلی‌متر mm	
	Bio15	بارش فصلی Precipitation seasonality	بدون واحد Unitless	
	Bio16	بارش مرطوب‌ترین سه ماهه Precipitation of wettest quarter	میلی‌متر mm	
	Bio17	بارش خشک‌ترین سه ماهه Precipitation of driest quarter	میلی‌متر mm	
	Bio18	بارش گرم‌ترین سه ماهه Precipitation of warmest quarter	میلی‌متر mm	
	Bio19	بارش سردترین سه ماهه Precipitation of coldest quarter	میلی‌متر mm	

ادامهٔ جدول ۱.

Comtined table 1.

نوع Type	اختصار Abbreviations	تشریح Description	واحد Unit	منبع Source
اقلیمی Bioclimatic	Bio6	حداقل دما سردترین ماه سال Min temperature for coldest month	°C	www.worldclim2.org (Fick et al., 2017)
	Bio7	دامنه دمای سالیانه Temperature annual range	°C	
	Bio8	میانگین دمای مرطوب‌ترین سه ماه Mean temperature of wettest quarter	°C	
	Bio9	میانگین دمای خشک‌ترین سه ماهه Mean temperature of driest quarter	°C	
	Bio10	میانگین دمای گرم‌ترین سه ماهه Mean temperature of warmest quarter	°C	
	Bio11	میانگین دمای سردترین سه ماهه Mean temperature of coldest quarter	°C	
	Bio12	بارش سالیانه Annual precipitation	Mm	
	Bio13	بارش گرم‌ترین ماه Precipitation of wettest month	Mm	
	Bio14	بارش خشک‌ترین ماه Precipitation of driest month	Mm	
	Bio15	بارش فصلی Precipitation seasonality	Unitless	
	Bio16	بارش مرطوب‌ترین سه ماهه Precipitation of wettest quarter	Mm	
	Bio17	بارش خشک‌ترین سه ماهه Precipitation of driest quarter	Mm	
	Bio18	بارش گرم‌ترین سه ماهه Precipitation of warmest quarter	Mm	
	Bio19	بارش سردترین سه ماهه Precipitation of coldest quarter	Mm	

ادامهٔ جدول ۱.

Comtined table 1.

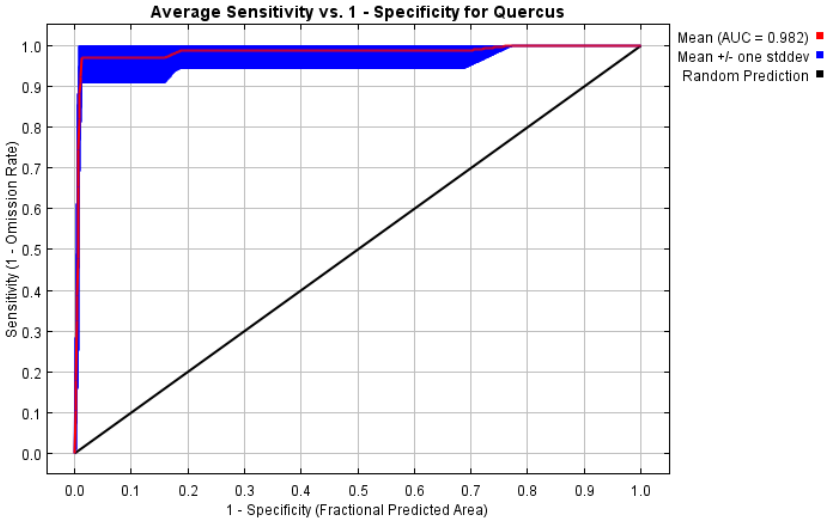
نوع Type	اختصار Abbreviations	تشریح Description	واحد Unit	منبع Source
توپوگرافی Topography	SLP	شیب Slope	درصد Percentage	DoE, 2018, FRWMO, 2010
	ASP	جهت Aspect	درجه Degree	
	DEM	ارتفاع Elevation	متر Meter	
سطح تابش خورشیدی Solar Radiation	SRAD	تابش خورشیدی Solar Radiation		
خاک Soil	SOIL	تیپ خاک Types of soil	کلاس Class	
فاصله از رودخانه Distance of rivers	DISR	فاصله از جاده Distance of roads	متر Meter	
شاخص پوشش گیاهی NDVI	NDVI			
فاصله از روستا Distance of Village	DISV	فاصله از رودخانه‌ها Distance of rivers	متر Meter	
زمین شناسی Geology	GEO	زمین شناسی Geology	کلاس Class	

نتایج

سطح زیر منحنی به‌دست‌آمده در این بررسی ۰/۹۸ است که بر این اساس الگوریتم حداکثر آنتروپی به‌طور معنی‌داری (P=0.01) قدرت پیش‌بینی عالی را برای حضور بلوط ایرانی در مناطق نمونه‌برداری ارائه کرده است و نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی می‌تواند مناطق مطلوب و نامطلوب را از همدیگر تفکیک کند. علاوه براین، هم‌پوشانی داده‌های تعلیمی و آزمون تأیید کننده نتایج مدل است (شکل ۲).

براساس جدول ۲ هر کدام یک از متغیرها با درصد خاصی در ساخت مدل مشارکت داشته‌اند. متغیر ارتفاع ، فاصله از روستا وbio1 مشارکت بیشتری در توسعه مدل دارند و متغیرهای NDVI، شیب و جهت کمترین درصد مشارکت را در ساخت مدل دارند.

نتایج آزمون جک‌نایف نشان داد متغیرهای متوسط درجه حرارت سالیانه، ارتفاع، bio16 اهمیت بیشتری دارند و متغیرهای جهت و NDVI کمترین اهمیت را در ساخت مدل دارند (شکل ۳).



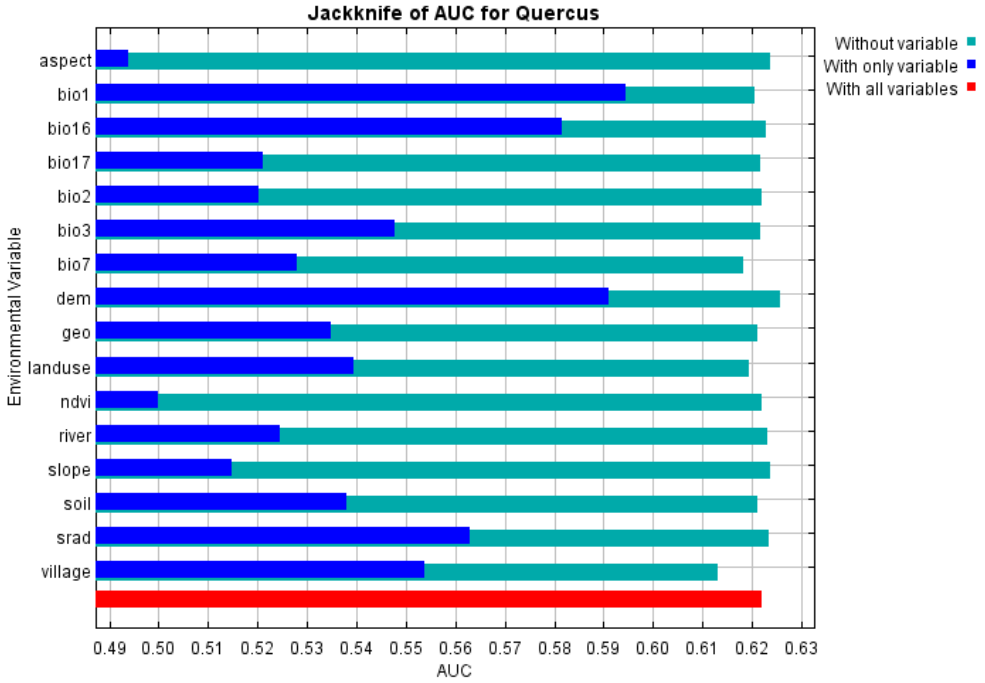
شکل ۲- منحنی ROC محاسبه شده توسط مدلMaxEnt

Figure 2. ROC curve calculated by MaxEnt model

جدول ۲- درصد مشارکت هر متغیر در توسعه مدل

Table 2. Percent of contribution of variables in the model

درصد مشارکت Percent of Conribution	نام متغیر Variable name	درصد مشارکت Percent of Conribution	نام متغیر Variable name
1.4	زمین شناسی Geology	6.33	ارتفاع Elevation
1.4	Bio3 ایزوترمال	20.3	فاصله از روستا Distance from village
1.3	Bio2 میانگین دامنه دمای روزانه	14.2	Bio1 میانگین دمای سالانه
1.2	فاصله از روخانه Distance from River	8.7	Bio17 بارش خشک‌ترین سه ماهه
0.9	سطح تابش خورشیدی Solar Radation	6.2	پوشش زمین Land cover
0.4	جهت Aspect	4.1	تیپ خاک Soil type
0.4	شیب Slope	3.1	Bio16 بارش مرطوب‌ترین سه ماهه
0	شاخص پوشش گیاهی NDVI	2.7	Bio7 دامنه دمای سالیانه

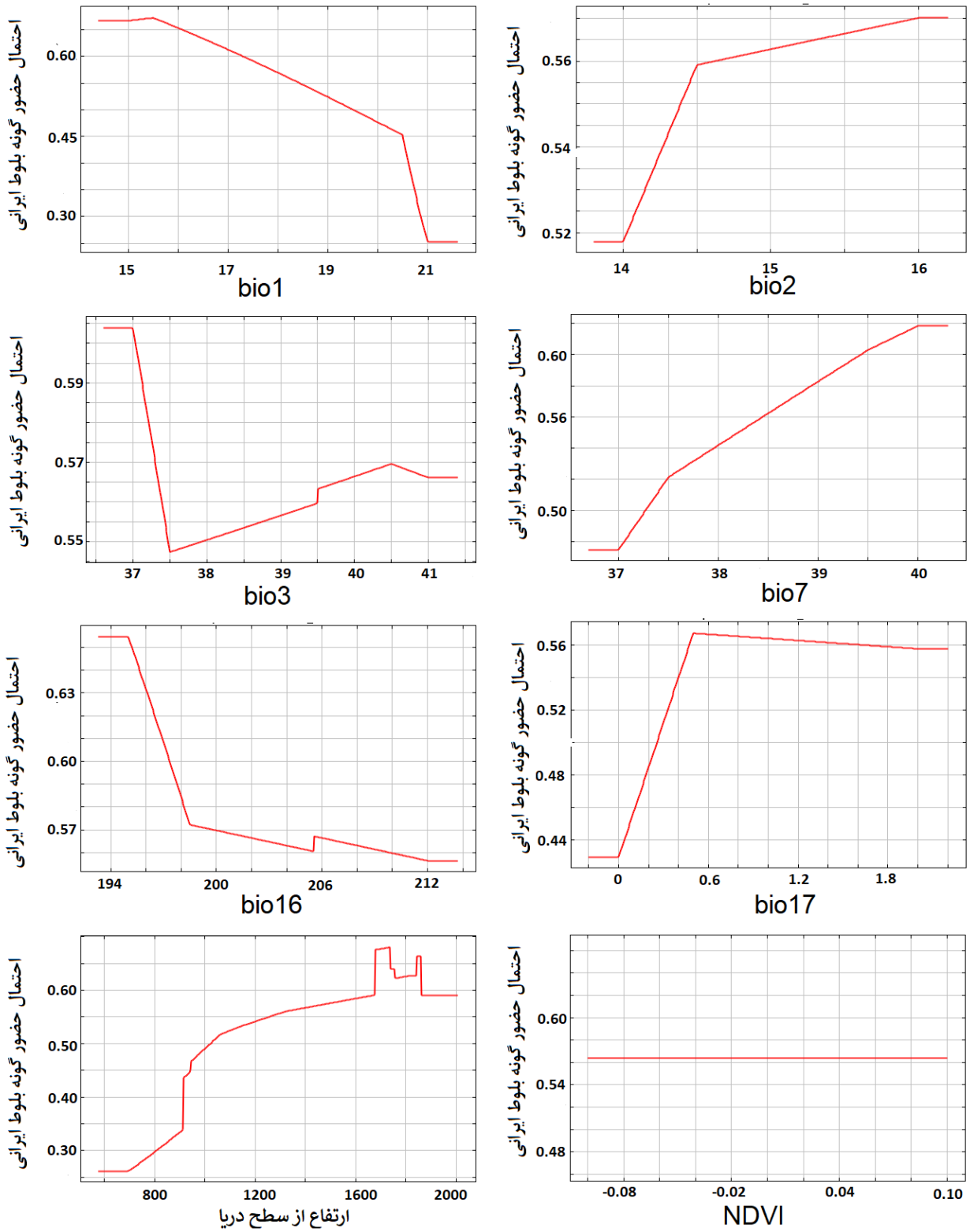


شکل ۳- بررسی اهمیت متغیرها براساس روش جک‌نایف

Figure 3. Relative variable importance based on jackknife

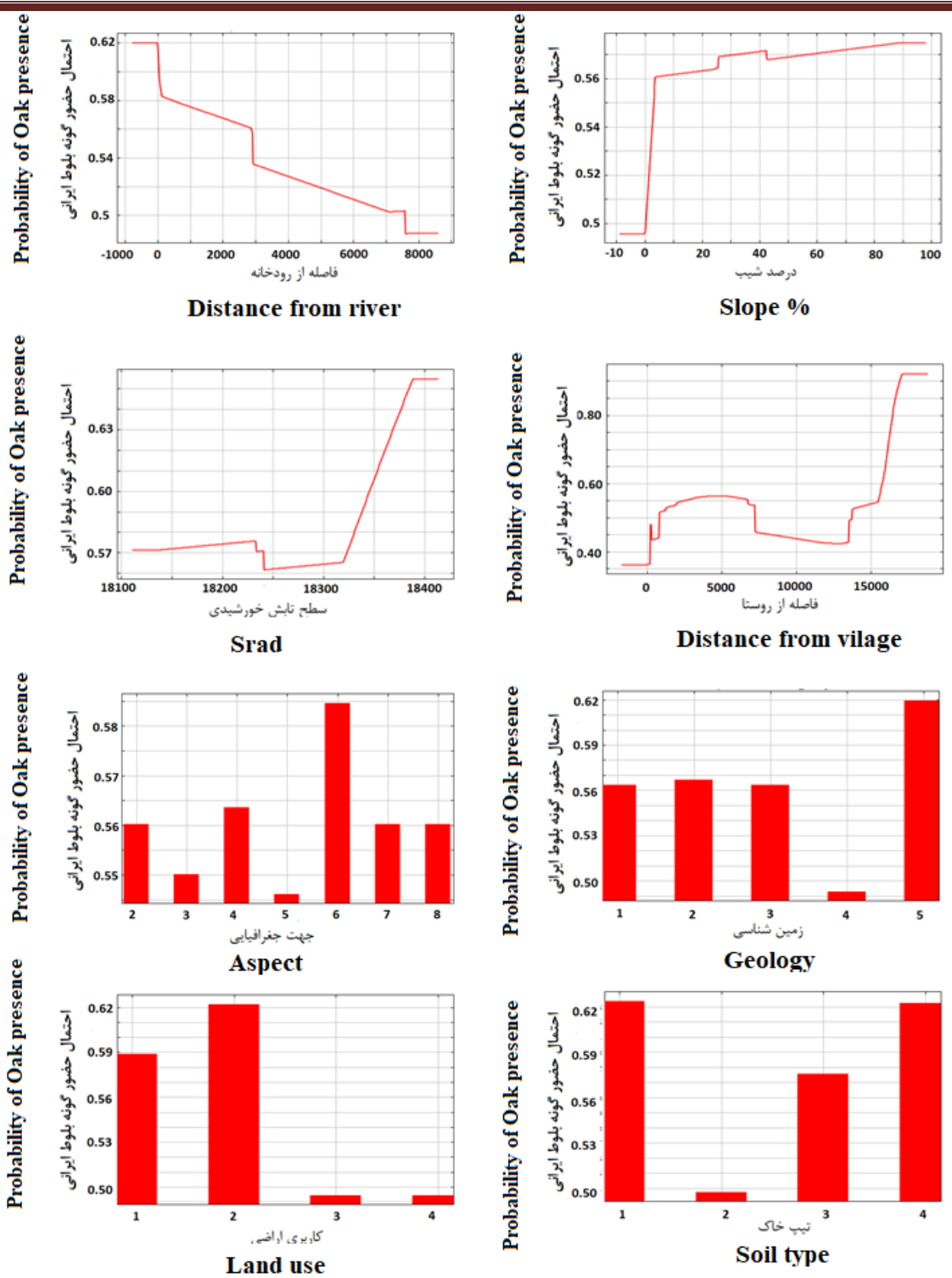
در این بررسی منحنی پاسخ گونه بلوط ایرانی نسبت به متغیرهای محیطی نیز بررسی شد (شکل ۴ و ۵). بر اساس این نتایج با افزایش مقدار bio1 و فاصله از رودخانه احتمال حضور گونه بلوط در منطقه مورد بررسی کاهش می‌یابد. پاسخ گونه بلوط نسبت به متغیر bio2، bio17، ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، فاصله از روستا و bio7 کاملا متفاوت است و با افزایش این مقادیر پراکنش این گونه نیز افزایش می‌یابد. شاخص NDVI نیز در این بررسی اهمیت کمی بر پراکنش گونه بلوط داشت و منحنی پاسخ بی‌تفاوتی را نسبت به احتمال حضور این گونه نشان داد.

در نهایت پس از ساخت مدل حداکثر آنتروپی و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار، ارزیابی مدل، و تهیه منحنی پاسخ متغیرهای محیطی نسبت به احتمال حضور گونه بلوط، نقشه پتانسیل حضور این گونه در منطقه مورد بررسی تهیه شد (شکل ۶). سپس مقدار آستانه که نقشه به‌دست‌آمده را با این مقدار به دو قسمت مطلوب و نامطلوب تقسیم می‌کند، محاسبه شد. با استفاده از این مقدار که در این بررسی ۰/۵ بود نقشه مطلوبیت رویشگاه به دو طبقه حضور و عدم حضور تقسیم شد (شکل۷).



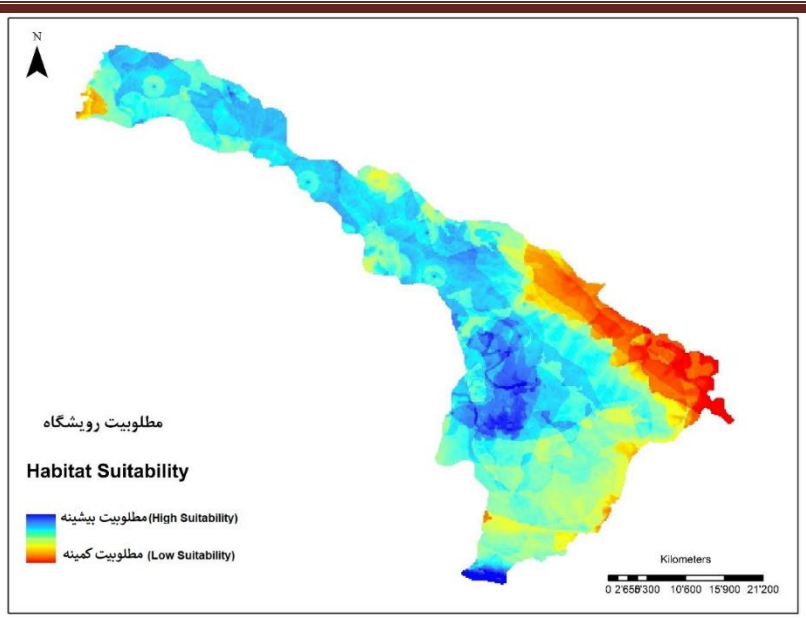
شکل ۴- منحنی پاسخ گونه بلوط ایرانی نسبت به متغیرهای محیطی در منطقه مورد بررسی

Figure 4. Response curve of Iranian oak to environmental variables in the study area



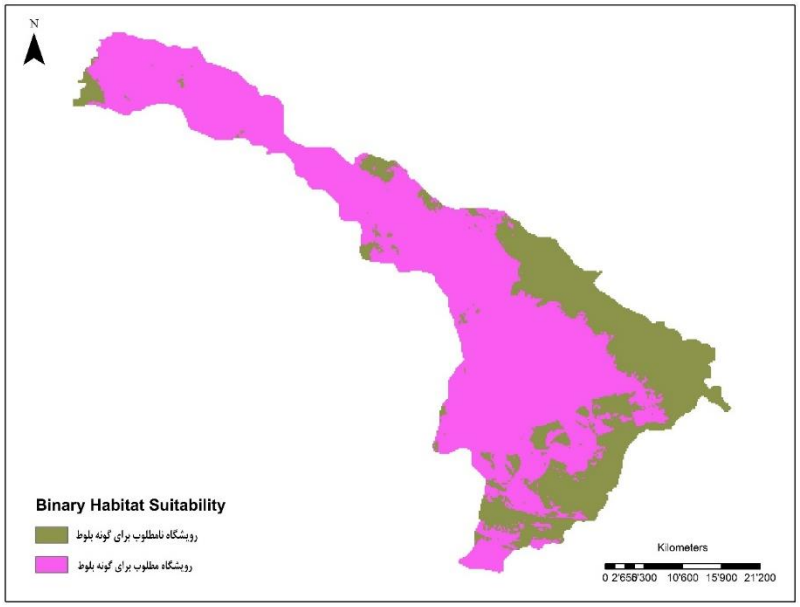
شکل ۵- منحنی پاسخ گونه بلوط ایرانی نسبت به متغیرهای محیطی در منطقه مورد بررسی

Figure 5. Response curve of Iranian oak to environmental variables in the study area



شکل ۶- نقشه نهایی مطلوبیت رویشگاه بلوط ایرانی

Figure 6. Final suitability map of *Quercus branti*



شکل ۷- نقشه مطلوبیت زیستگاه و حد آستانه

Figure 7. Suitability map and thresholds

بحث

در این بررسی پراکنش گونه بلوط ایرانی با استفاده از از روش حداکثر آنتروپی در منطقه حفاظت‌شده دینارکوه مورد بررسی قرار شد. نتایج نشان داد که مدل حداکثر آنتروپی کارایی بالایی در پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه مورد بررسی دارد. بر اساس نتایج این پژوهش، متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، فاصله از روستا و میانگین دمای سالانه (bio1) مشارکت بیشتری در توسعه مدل داشتند. از سوی دیگر بر اساس آزمون جک‌نایف متغیر مقدار بارندگی در مرطوب‌ترین فصل سال نیز دارای اهمیت بود.

در این بررسی نیز مقدار AUC مدل حداکثر

آنتروپی حدود ۰/۹۸ بود که نشان‌دهنده عملکرد بالا در پیش‌بینی پراکنش گونه بلوط است. در سطح جهان نیز پژوهش های قابل‌توجهی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مختلف با استفاده از MaxEnt انجام شده است. به‌عنوان مثال، از مدل MaxEnt برای پیش‌بینی توزیع بالقوه *Phenacoccus solenopsis* (Fand et al., 2014; Kumar et al., 2014) و *Justicia adhatoda L.* استفاده کردند. همچنین در ایران Alavi et al. (2019) به بررسی پراکنش گونه سرخدار با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل دارای عملکرد بالایی در پیش‌بینی پراکنش گونه سرخدار دارد.

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که عامل مجاورت با مکان زیست انسان (شهر یا روستا) می‌تواند از طریق تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌هایی از قبیل ساخت و ساز و کشاورزی بر پوشش گیاهی تأثیر بگذارد و به‌دلیل اینکه گونه بلوط ایرانی به‌عنوان یک گونه دارای اهمیت از نظر اقتصادی-اجتماعی است، بنابراین تحت تأثیر مستقیم فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد. Bagheri et al. (2020) در بررسی توزیع مکانی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی مبتنی بر تلفیق تکنیک‌های زمین آماری و سنجش از دور، مشاهده کردند که پدیده خشکیدگی در ارتفاعات و اطراف آبراهه‌ها کمتر دیده شده و با تغییر کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های انسانی مقدار خشکیدگی افزایش یافته است که دلیل آن می‌تواند افت سطح آب‌های زیر زمینی باشد. فاصله با روستا همچنین می‌تواند در مقدار تأثیر آشفتگی‌های با منشاء انسانی مانند آتش-سوزی و چرای دام نقش داشته باشد و این آشفتگی‌ها سبب ایجاد تغییرات در پوشش گیاهی و خاک می‌شود. (Sefidi et al., 2020) نشان دادند که تیپ جنگلی تخریب‌شده دارای گونه‌های مهاجم بیشتر و شاخص‌های غنا و تنوع کمتری است.

ارتفاع از سطح دریا از عوامل مهم تعیین‌کننده گستره و نوع پوشش گیاهی است. بسیاری از عامل-های محیطی مانند دما، مقدار بارش، ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی خاک و طول دوره رشد، همگام با ارتفاع تغییر می‌یابند (Körner, 2007). از این‌رو ارتفاع می‌تواند به‌عنوان نماینده‌ای از ویژگی‌های زیستی و غیرزیستی برای درک تأثیر تغییرات اقلیمی بر رشد و فیزیولوژی گیاهان مورد بررسی قرار گیرد (Davis et al., 1991). به‌طور کلی پیش‌بینی می‌شود که در مناطق کوهستانی گونه‌های درختی در واکنش به تغییر اقلیم به سمت ارتفاعات بالاتر گسترش پیدا کنند (Beckage et al., 2008). Soleymani et al. (2008) در بررسی تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر ساختار جست‌گروه‌های بلوط در جنگل باباکوسه علیا (استان کرمانشاه) مشاهده کردند که تغییرات ارتفاع از سطح دریا بر ویژگی‌های ساختاری جست تأثیرگذار است و با افزایش ارتفاع از سطح دریا تعداد جست‌ها کاهش می‌یابد. Aghakhani et al. (2016) پیش‌بینی کردند که با افزایش دما در اثر تغییر اقلیم، رویشگاه‌های بلوط ایرانی به سمت مناطق مرتفع‌تر با دمای کمتر جابجا خواهد شد. Taleshi et al. (2019) نشان دادند که در شرایط تغییر اقلیم، رویشگاه‌های بلوط بلندمازو در ارتفاع بالاتری از سطح دریا خواهند بود. همچنین در دیگر پژوهش‌هایی که در زمینه مدل‌سازی پراکنش درختان در ایران انجام شده است به اهمیت متغیر ارتفاع از سطح دریا از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بودند (Alavi et al. 2019; Ahmadi et al. 2020a). با این حال گزارشات متناقضی در خصوص نقش ارتفاع وجود دارد. نتایج پژوهش Nourinejad and Rostami (2014) نشان داد عامل ارتفاع از سطح دریا اثر معنی-داری روی زوال درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس

ندارد. نتایج بررسی تاثیر عوامل فیزیوگرافی بر زادآوری طبیعی گونه بلوط بلندمازو در جنگل‌های گرگان نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا فراوانی نهال‌ها و نونهال‌ها به‌طور منظم تغییر نمی‌کند به‌نحوی که در ارتفاعات پایین، فراوانی زادآوری افزایش و سپس در ارتفاع بالاتر کاهش و سپس دوباره افزایش می‌یابد (Amiri et al., 2009). همچنین Heydari et al. (2010) در بررسی زادآوری طبیعی بلوط ایرانی مشاهده کردند که زادآوری دانه‌زاد بلوط با ارتفاع از سطح دریا همبستگی دارد در حالی که زادآوری شاخه‌زاد با ارتفاع از سطح دریا، همبستگی منفی داشت.

گزارش‌های متفاوتی نیز از نقش دما و بارندگی نیز بر رویش بلوط موجود است. نتایج بررسی تأثیر خشکسالی بر پویایی زمانی-مکانی جنگل‌های بلوط لرستان نشان داد که پهنه پوشش جنگلی دارای آستانه سبزینگی تعیین شده، حساسیت قابل‌توجهی به خشکسالی دارد، به‌نحوی که به ازای هر ۰/۱ واحد تغییر در شاخص SPI مقدار مساحت پهنه پوشش جنگلی ۱۴۸۸۰ هکتار در همان جهت تغییر خواهد کرد. بارندگی پیش از فصل رویش با بالابردن 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 (Du et al., 2007). در پژوهش Aghakhani et al. (2017) در خصوص اثر تغییر اقلیم بر گونه بلوط ایران، متغیر بارندگی سالیانه بیشترین سهم نسبی را در مدل‌های استفاده شده داشت. Naseri karimvand et al. (2015) مشاهده کردند که همبستگی منفی بین رویش شعاعی بلوط ایرانی و متوسط بارندگی در بیشتر ماه‌های سال به جز ماه مارس (اسفند) وجود داشت که این همبستگی در تمام ماه‌های سال معنی‌دار نبوده است. آن‌ها نتیجه شدند که وجود رابطه مثبت بین رویش شعاعی با هر دو عامل متوسط بارندگی و درجه حرارت در ماه مارس (اسفند) نشان‌دهنده این است که هر دو این عوامل در آغاز فصل رویش می‌توانند به افزایش رویش کمک کنند. با این‌حال نتایج بررسی Poursartip (2012) نشان داد که در طی فصل رویش، درجه حرارت در مقایسه با بارندگی اثر معنی‌دارتری بر رشد *Quercus brantti* داشته که احتمالا دلیل آن نورپسندی این گونه است. به‌نظر می‌رسد بلوط، هنگامی که سطح آب زیر زمینی بالا باشد نسبت به عامل دما تأثیرپذیری بیشتری از بارندگی داشته باشد (Cerdo, 2001). در تحقیق Naseri karimvand et al. (2015) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رویش شعاعی درختان بلوط با متوسط درجه حرارت ماهانه در ماه‌های فوریه (بهمن) و جولای (تیر) وجود داشت.

براساس نتایج تحقیق حاضر، متغیرهای شیب و جهت کمترین درصد مشارکت را در ساخت مدل داشتند. گزارش‌ها در خصوص نقش شیب در رشد یا پراکنش بلوط متفاوت است. در تحقیق Aghakhani et al. (2016) نیز از بین متغیرهای مورد بررسی، جهت و شیب (بعد از هم دمایی) کمترین تأثیر را در مدل‌های پراکنش جغرافیایی بلوط ایرانی داشت. در بررسی Heydari et al. (2010) جهت دامنه از عوامل مؤثر در زادآوری طبیعی بلوط ایرانی شناخته شد. تأثیر جهات جغرافیایی و شیب بر زادآوری طبیعی گونه بلوط بلندمازو گزارش شده است (Amiri et al., 2008).

Navroodi et al. (2015) نشان دادند که تغییرات ارتفاعی نسبت به شیب، تأثیرات بیشتری بر ویژگی-های کمی توده‌های بلوط دارد. Mirzaei et al. (2018) در بررسی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در

جنگل‌های دالاب ایران مشاهده کردند که با افزایش شیب و ارتفاع از سطح دریا، مقدار خشکیدگی نیز افزایش می‌یابد و کمترین و بیشترین مقدار خشکیدگی به‌ترتیب مربوط به جهت‌های شرقی و جنوبی است. همچنین در بررسی Niknam et al. (2008) متغیرهای تعداد جست در هکتار و سطح تاج جست گروه‌های بلوط در جنگل باباکوسه علیا (استان کرمانشاه) در طبقات مختلف شیب اختلاف معنی‌داری داشتند.

ازبین‌رفتن و تخریب فزاینده رویشگاه‌های جنگلی در سراسر جهان بسیاری از گونه‌های درختی را تهدید می‌کند، که منجر به کاهش جمعیت، از بین رفتن تنوع ژنتیکی و حتی انقراض گونه‌ها می‌شود. بازسازی رویشگاه ابزار مهمی برای مدیریت اکوسیستم‌های تخریب شده است، با این حال، پروژه‌های بازسازی رویشگاه‌های جنگلی همیشه موفق نیستند. یکی از عوامل کلیدی که بر موفقیت پروژه‌های بازسازی رویشگاه تأثیر می‌گذارد، کیفیت مکان‌های انتخاب‌شده برای مدیریت است. به‌عنوان مثال، اگر کاشت گونه‌های درختی در مکان‌هایی که برای حضور و رویش این گونه‌ها مناسب نباشد، انجام شود در نهایت نتایج مطلوبی به‌دست نمی‌آید. برای جلوگیری از چنین شکست‌هایی، بسیار مهم است که از نقشه‌های مطلوبیت رویشگاه با دقت بالا استفاده شود. در این بررسی، با استفاده مجموعه داده‌های محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه بلوط ایرانی، نقشه مطلوبیت رویشگاه این گونه در منطقه مورد بررسی تهیه شد که این امر می‌تواند به احیا و بازسازی این گونه باارزش در غرب کشور کمک کند و راهنمایی جامع برای فعالیت‌های درختکاری در منطقه باشد.

References

Ahmadi, K.; Alavi, S. J.; Amiri, G. Z.; Hosseini, S. M.; Serra-Diaz, J. M.; Svenning, J.-C., The potential impact of future climate on the distribution of European yew (Taxus baccata L.) in the Hyrcanian Forest region (Iran). *International Journal of Biometeorology* **2020,** *64* (9), 1451-1462.

Ahmadi, K.; Jalil Alavi, S.; Zahedi Amiri, G.; Mohsen Hosseini, S.; Serra-Diaz, J. M.; Svenning, J. C., Patterns of density and structure of natural populations of Taxus baccata in the Hyrcanian forests of Iran. *Nordic journal of botany* **2020,** *38* (3), 1-10.

Alavi, S. J.; Ahmadi, K.; Hosseini, S. 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.

Bagheri, R.; Erfanifard, Y., Spatial distribution of Persian Oak decline using a combination of geostatistical techniques and remote sensing (Case study: Barm plain, Fars province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources* **2020,** *11* (1), 104-120.

Barnes, J. C.; Delborne, J. A., Rethinking restoration targets for American chestnut using species distribution modeling. *Biodiversity and Conservation* **2019,** *28* (12), 3199-3220.

Beckage, B.; Osborne, B.; Gavin, D. G.; Pucko, C.; Siccama, T.; Perkins, T., A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the Green Mountains of Vermont. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2008,** *105* (11), 4197-4202.

Bradley, B. A.; Olsson, A. D.; Wang, O.; Dickson, B. G.; Pelech, L.; Sesnie, S. E.; Zachmann, L. J., Species detection vs. habitat suitability: are we biasing habitat suitability models with remotely sensed data? *Ecological Modelling* **2012,** *244*, 57-64.

Buitenwerf, R.; Rose, L.; Higgins, S. I., Three decades of multi-dimensional change in global leaf phenology. *Nature Climate Change* **2015,** *5* (4), 364-368.

Cedro, A., Influence of thermic and pluvial conditions on the radial increments of Pseudotsuga menziesii Franco from Western Pomerania, Poland. *TRACE–Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* **2006,** *4*, 132-140.

Davis, J.; Schober, A.; Bahn, M.; Sveinbjörnsson, B., Soil carbon and nitrogen

turnover at and below the elevational treeline in northern Fennoscandia. *Arctic and alpine research* **1991,** *23* (3), 279-286.

Du, S.; Yamanaka, N.; Yamamoto, F.; Otsuki, K.; Wang, S.; Hou, Q., The effect of climate on radial growth of Quercus liaotungensis forest trees in Loess Plateau, China. *Dendrochronologia* **2007,** *25* (1), 29-36.

Ferraz, K. M. P. M. D. B.; Ferraz, S. F. D. B.;Paula, R. C. D.; Beisiegel, B. & Breitenmoser, C., Species distribution modeling for conservation purposes. Natureza & Conservação **2012**, 10(2), 214-220.

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)

Hassanzad Navroodi, I.; Zarkami, R.; Basati, M.; Mohammadi Limaei, S., Quantitative and qualitative characteristics of Persian oak along altitudinal gradation and gradient (Case study: Ilam province, Iran). *Journal of Forest Science [Prague]* **2015,** *61* (7), 297-305.

Heydari, M.; Pourbabaee, H.; Atarroshan, S., Natural regeneration status of Iranian oak among ecological groups in Walnut-Zagros vegetation area. *Iranian Jouranal of Biology* **2011**, 24(4).878-592. (In Persian)

Hirzel, A. H.; Hausser, J.; Chessel, D.; Perrin, N., Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* **2002,** *83* (7), 2027-2036.

Hoffman, J. D.; Narumalani, S.; Mishra, D. R.; Merani, P.; Wilson, R. G., Predicting potential occurrence and spread of invasive plant species along the North Platte River, Nebraska. *Invasive Plant Science and Management* **2008,** *1* (4), 359-367.

Jensen, D. A.; Rao, M.; Zhang, J.; Grøn, M.; Tian, S.; Ma, K.; Svenning, J.-C., The potential for using rare, native species in reforestation–A case study of yews (Taxaceae) in China. *Forest Ecology and Management* **2021,** *482*, 118816.

Kong, F.; Tang, L.; He, H.; Yang, F.; Tao, J.; Wang, W., Assessing the impact of climate change on the distribution of Osmanthus fragrans using Maxent. *Environmental Science and Pollution Research* **2021,** *28* (26), 34655-34663.

Körner, C., The use of 'altitude'in ecological research. *Trends in ecology & evolution* **2007,** *22* (11), 569-574.

Lv, X.; Zhou, G., Climatic suitability of the geographic distribution of Stipa breviflora in Chinese temperate grassland under climate change. *Sustainability* **2018,** *10* (10), 3767.

Ma, B.; Sun, J., Predicting the distribution of Stipa purpurea across the Tibetan Plateau via the MaxEnt model. *BMC ecology* **2018,** *18* (1), 1-12.

Mirdavoodi, H.; Marvi Mohadjer, M. R.; Zahedi Amiri, G.; Etemad, V., Disturbance effects on plant diversity and invasive species in western oak communities of Iran (Case study: Dalab Forest, Ilam). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2013,** *21* (1), 1-15. (In Persian)

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)

Naghipour Borj, A. A.; Haidarian Aghakhani, M.; Sangoony, H., Application of ensemble modelling method in predicting the effects of climate change on the distribution of Fritillaria imperialis L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2019,** *32* (3), 609-621. (In Persian)

Naseri Karimvand, S.; Poursartip, L.; Moradi, M.; Soosani, J., Dynamic Effects of climate variables (temperature and precipitation) on the annual diameter growth of Iranian oak (Quercus brantti Lindl). *Forest Research and Development* **2016,** *2* (1), 63-71. (In Persian)

Nourinejad, J.; Rostami, A., Investigation of oak decline and its relation to physiographic factors in the forests of west of Iran (case study: Ilam Province). *J Biodivers Environ Sci (JBES)* **2014,** *5* (2), 201-207. (In Persian)

Phillips, S. J.; Anderson, R. P.; Schapire, R. E., Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* **2006,** *190* (3-4), 231-259.

Poursartip, L., Comparison of anatomical characteristics and chronology Avery trees (*Quercus macranthera*) and Oak (*Quercus castanifolia*) (Case study: North Caspian forests). PhD thesis. Faculty of Natural

Resources, University of Tehran, Iran, Karaj, **2012**, 80 p. (In Persian).

Qin, A.; Jin, K.; Batsaikhan, M.-E.; Nyamjav, J.; Li, G.; Li, J.; Xue, Y.; Sun, G.; Wu, L.; Indree, T., Predicting the current and future suitable habitats of the main dietary plants of the Gobi Bear using MaxEnt modeling. *Global Ecology and Conservation* **2020,** *22*, e01032.

Ramachandran, R. M.; Roy, P. S.; Chakravarthi, V.; Sanjay, J.; Joshi, P. K., Long-term land use and land cover changes (1920–2015) in Eastern Ghats, India: Pattern of dynamics and challenges in plant species conservation. *Ecological Indicators* **2018,** *85*, 21-36.

Sagheb-Talebi, K.; Pourhashemi, M.; Sajedi, T., *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Springer: 2014.

Sefidi, K.; Ghavidel, A.; Esmaeilpour, M.; Mohammadi, S., Effect of soil physical and chemical properties on tree cover diversity and structure in Marivan Qamyshlh forests. *Forest and Wood Products* **2020,** *73* (2), 225-233. (In Persian)

Soleymani, N.; Dargahi, D.; Pourhashemi, M.; Amiri., The effect of physiographic factors on the search structure of oak groups in Upper Babakuse forest, Kermanshah province. *Iranian journal of Forest and Poplar Research* **2008**. 16(3).467-477. (In Persian)

Taleshi, H.; Jalali, S. G.; Alavi, S. J.; Hosseini, S. M.; Naimi, B.; Zimmermann, N. E., Climate change impacts on the distribution and diversity of major tree species in the temperate forests of Northern Iran. *Regional Environmental Change* **2019,** *19* (8), 2711-2728.

Yang, X.-Q.; Kushwaha, S.; Saran, S.; Xu, J.; Roy, P., Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, Justicia adhatoda L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological engineering* **2013,** *51*, 83-87.

Modeling of Iranian oak distribution in the southwest of Iran based on the presence-based approach Maximum Entropy (MaxEnt)

Sh. Mahmoodi[*1], K. Ahmadi[2], M. Zahravi[3] and O. Karami[4]

1- Ph.D. National Center of Genetic Resource, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (shirin.mahmoodi@ut.ac.ir)
2- Ph.D, Faculty of Natural Resource, University of Tarbiat Modares, Tehran, I. R. Iran. (kouroshahmadi66@yahoo.com)
3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (mzahravi@yahoo.com)
4- Ph.D., Department of Natural Resources, Ilam, I. R. Iran. (omid64karami@yahoo.com)

Received: 21.10.2021 Accepted: 21.12.2021

Abstract

Understanding the dynamics and spatial distribution of plant species is an important strategy to conserve biodiversity. Modeling the distribution of plant species is one of the important methods in this field, which uses appropriate indicators to identify the relationships of different environmental variables and evaluate the habitat suitability for a species. In this study, in order to identify suitable areas for the presence of Iranian oak, which is one of the most important tree species in the Zagros forests in Iran, the model of maximum entropy (MaxEnt) was used. 16 environmental variables including topographic, climatic, and soil variables were used as independent variables and occurrences of Iranian oak were used as response variables. In order to evaluate the model, the area under the curve (AUC) was used. Jackknife method was used to determine and evaluate the importance of environmental variables. The results of this study showed that the MaxEnt model had a high efficiency with AUC: 0.98 and the mean annual temperature, elevation, and precipitation in the wettest quarter are more important. In addition, aspect and NDVI were the least important in model construction. In this study, the suitability map of Iranian oak in the study area was prepared, which can be a reliable source for managers in planning to protect and rehabilitate deforested forests in the study area.

Keywords: Geographical distribution, Jackknife, Dinarkouh, Ecological niche.

[*] Corresponding author Tel: +989301951260