



دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حافظت زیست بوم گیاهان"
دوره نهم، شماره هجدهم

علمی-پژوهشی

<http://pec.gonbad.ac.ir>

مدل سازی رویشگاه و تعیین متغیرهای زیست محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در زیستگاه‌های جنگلی استان لرستان

سرور محمودوند^۱، حامد خدایاری^{۲*}، فرج الله ترنیان^۳

^۱کارشناسی ارشد علوم گیاهی-سیستماتیک و بوم شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد

^۲استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد

^۳استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱

چکیده

مدل‌های پراکنش گونه‌ای از مهمترین مدل‌های بوم‌شناختی هستند که برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، شناسایی زیستگاه‌های جدید و حفاظت از گونه‌های در حال انقراض مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش مدل‌سازی پتانسیل رویشگاه و تعیین مهمترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در استان لرستان با استفاده از مدل مکنت مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه نقشه پتانسیل رویشگاه گونه بلوط ایرانی ابتدا ۲۲ لایه زیست محیطی در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 آماده و به فرمت ASCII تبدیل شدند. سپس ۵۰۶۴ نقطه حضور گونه با استفاده شبکه $1/5 \times 1/5$ کیلومتر از روی نقشه پراکنش جغرافیایی گونه بلوط ایرانی (۱:۲۵۰۰۰۰) استخراج، صحت سنجی و به فرمت CSV تبدیل شد. پس از آماده‌سازی لایه‌ها از نرم‌افزار MaxEnt 3.3.3 برای مدل‌سازی پراکنش گونه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد از ۲۲ متغیر زیست محیطی تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی ۷ متغیر مهمترین بودند که از بین آنها متوسط درجه حرارت سالانه، بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی و حداقل درجه حرارت سردترین ماه به ترتیب با $24/2$ ، $38/2$ و $13/3$ درصد، بیشترین تأثیر را بر روی پراکنش گونه بلوط ایرانی داشتند. مقدار سطح زیر منحنی (AUC) مدل برابر 0.669 بود. به دست آمد و از مقدار آستانه 0.33 برای تبدیل نقشه احتمالاتی به نقشه حضور و عدم حضور گونه استفاده شد. نقشه پتانسیل رویشی گونه نشان می‌دهد که تقریباً $62/5$ درصد

*نویسنده مسئول: khodayari.h@lu.ac.ir

سطح استان لرستان پتانسیل رویش گونه بلوط ایرانی را دارا می‌باشد که در این بین مناطق جدیدی خصوصاً در شهرستان‌های خرم‌آباد، الیگودرز، کوهدشت و پلدختر برای احیا و بازسازی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، متغیرهای زیست‌اقلیمی، مدل‌های بوم‌شناختی، MaxEnt

مقدمه

امروزه با پیشرفت در فن آوری سنجش از دور و GIS^۲ استفاده از مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها برای ایجاد پراکنش جغرافیایی بالقوه گونه‌ها در بوم‌شناختی، حفاظت و زیست‌شناسی تکاملی افزایش یافته است (Terribile et al., 2009). مدل‌های پراکنش گونه‌ای^۳ دسته مهمی از مدل‌های بوم‌شناختی بشمار می‌روند که برای بررسی پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری استفاده می‌شوند. این مدل‌ها براساس تئوری نیچ اکولوژیکی استوار می‌باشند، به این معنی که هر عامل محیطی تأثیرگذار روی پراکنش گونه‌های گیاهی دارای حداقل، حداکثر و مقدار بهینه است که در ترکیب با هم، قلمرو گونه‌ها را از هم جدا می‌سازند و یک نیچ اکولوژیکی را برای یک گونه گیاهی مشخص تشکیل می‌دهند. روش‌های مدل‌سازی را می‌توان برای بررسی نیچ اکولوژی گونه‌ها، یافتن مناطق بالقوه برای حضور گونه‌ها و تعیین مهمترین فاکتورهای محیطی موثر روی پراکنش و حضور آنها، یافتن زیستگاه‌های جدید برای گونه‌های کمیاب و در خطر انقراض در مناطق دوردست، برنامه‌ریزی و حفاظت استفاده کرد. در بعضی از این مدل‌ها تنها از داده‌های حضور و در برخی دیگر از داده‌های حضور و غیاب استفاده می‌شود. طی بررسی فیلیپس و همکاران (Philips et al., 2004)، مدل مکست^۴ (روش حداکثر آنتروپی^۵) از مهمترین مدل‌هایی است که از داده‌های حضور برای تعیین پراکنش گونه‌ای استفاده می‌کند. روش حداکثر آنتروپی در سال ۲۰۰۴ در دسترس قرار گرفت و به طور گسترده برای تعیین مهمترین عوامل موثر روی پراکنش گونه‌ای و مدل‌سازی رویشگاه آنها مورد استفاده قرار گرفت (ترنیان و همکاران، ۱۳۹۶). هدف روش حداکثر آنتروپی برآورد احتمال توزیع و پراکنش یک گونه از طریق یافتن احتمال توزیعی از متغیرهای محیطی است که دارای حداکثر آشفتگی و بی‌نظمی است (Philips et al., 2004). در واقع با تعییر در متغیرهای محیطی انتخاب شده می‌توان جداکثر بی‌نظمی روی گونه مورد مطالعه ایجاد کرد و رویشگاه آن را تحت تأثیر قرار داد. برای استفاده از مدل مکست، محقق به متغیرهای محیطی تأثیرگذار روی پراکنش گونه و داده‌های حضور مربوط به گونه مورد مطالعه نیاز دارد. از این مدل بدلیل ویژگی‌هایی همچون استفاده از داده‌های حضور و قابلیت پیش‌بینی بالای این

² Geographic Information System

³ Species Distribution Modeling

⁴ MaxEnt Model

⁵ Maximum Antropy Method

مدل و به خاطر یادگیری ماشینی بودن آن در مطالعات مختلف همچون در ک رابطه بین حضور گونه‌های مختلف، تهیه نقشه پراکنش گونه‌ها و پیش‌بینی مکان‌های جدید حضور گونه استفاده شده است (Elith et al., 2006). مدل مکسنت یکی از روش‌های رایج می‌باشد که برای پیش‌بینی بالقوه گونه‌های گیاهی در بین محققان مورد استفاده قرار می‌گیرد (پیری صحراءگرد و همکاران، ۱۳۹۴؛ Trinian و همکاران، ۱۳۹۶؛ زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Morales et al., 2017؛ Yi et al., 2016؛ Zhang et al., 2018). از مزیت‌های مدل مکسنت این است که پیش‌بینی آن حتی اگر اندازه نمونه‌ها کم باشد، دارای دقت زیاد، پایدار و قابل اعتماد است (Abdelaa et al., 2019). در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای باوضوح بالا و پایین، دقت و صحبت متغیرهای محیطی و داده‌های درون‌یابی شده آب و هوا و پوشش گیاهی، دقت پیش‌بینی این مدل‌ها را افزایش داده است (Adhikari et al., 2012).

رویشگاه زاگرس بخش وسیعی از سلسله جبال زاگرس را شامل می‌شود که از شمال‌غربی ایران شهرستان پیرانشهر در استان آذربایجان‌غربی تا حوالی شهرستان فیروزآباد در استان فارس امتداد می‌یابد، که منطقه‌ای به طول ۱۳۰۰ و عرض متوسط ۲۰۰ کیلومتر را می‌پوشاند (پوربابائی و همکاران، ۱۳۹۴). جنگل‌های زاگرس که تحت عنوان جنگل‌های نیمه‌خشک طبقه‌بندی شده، با پنج میلیون هکتار وسعت، ۴۰ درصد کل جنگل‌های ایران را به خود اختصاص داده است، همچنین این رویشگاه نقش مهمی را در حفظ آب، خاک، تعديل آب و هوا و توازن اقتصادی و اجتماعی ایفا می‌کند (طالی و همکاران، ۱۳۸۵).

گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) یکی از مهمترین گونه‌های تیره راش (Fagaceae) می‌باشد. این گونه معمولاً در ارتفاع ۹۰۰ تا ۲۴۰۰ متری از سطح دریا وجود دارد که انعطاف‌پذیری اکولوژی این گونه را نشان می‌دهد (Taleshi and Maasoumi Babarabi, 2013). استان لرستان در زاگرس مرکزی قرار گرفته است و ۴۴ درصد از مساحت آن توسط جنگل پوشیده شده است که گونه غالب آن بلوط می‌باشد (کوهسلطانی و همکاران، ۱۳۹۷). مطالعات بسیاری با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌های مختلف بلوط انجام شده است. در تحقیقی مکلاگلین و زوالتا (McLaughlin and Zavaleta, 2012) به برداشت صحراء‌ی و مدل‌سازی پراکنش درختان بالغ و نهال‌های *Quercus lobata* توسط مدل‌های GARP، MaxEnt و Bioclim پرداختند. آنها گزارش کردند که نهال‌ها حساسیت بیشتری به گرما دارند و رویشگاه آنها عموماً با افزایش دما به اطراف آب محدود می‌شود. همچنین کوبان و همکاران (Coban et al., 2020) به مدل‌سازی پیش‌بینی پتانسیل پراکنش جغرافیایی گونه *Quercus libani* با استفاده از مدل MaxEnt پرداختند. طی پژوهشی طالشی و همکاران (۱۳۹۹) پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش بالقوه گونه بلند مازو (*Quercus castaneifolia* C.A.M) با استفاده از مدل‌سازی ترکیبی در جنگل‌های

هیرکانی ایران مورد بررسی قرار دادند نتایج آنها نشان داد مدل روش جنگل‌های تصادفی (RF) بهترین روش برای مدل‌سازی پراکنش گونه بلند مازو تحت تأثیر تغییر اقلیم است. حیدریان آفاخانی و همکاران (الف ۱۳۹۶) طی مطالعه‌ای مدل‌سازی آشیان اقلیمی گونه بلוט ایرانی با استفاده از مدل خطی تعمیم یافته، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی، شبکه عصبی مصنوعی، روش افزایشی تعمیم یافته و جنگل تصادفی در استان چهارمحال و بختیاری را مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که بارندگی سالانه و میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه این گونه داشته است.

اخیراً مناطق وسیعی از جنگل‌های بلוט تحت تأثیر خشکیدگی قرار گرفته‌اند. با وجود اینکه هنوز دلیل اصلی زوال جنگل‌های بلוט مشخص نشده است، اما طبق تحقیقات انجام گرفته عواملی همچون تغییرات اقلیمی و ریزگردها، بیماری قارچ زغالی بلוט و سوسکها، رقابت، قطر و سن درخت، کشت زیرashکوب، آتش‌سوزی، برداشت چوب و چرای دام را از عوامل تأثیرگذار روی خشکیدگی بلוט عنوان می‌کنند (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین تحقیقات نشان داد که تغییر اقلیم، افزایش دما و کاهش باران سبب گسترش عوامل بیماری‌زا در درختان جنگلی می‌شود (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۷). متأسفانه استفاده بی‌رویه از این اکوسیستم باعث افزایش شکنندگی آنها و کاهش مقاومت آنها در مقابل عوامل تغییر شده است، بنابراین انجام مطالعات بوم‌شناسی برای مدیریت و حفاظت از این اکوسیستم ضرورت پیدا می‌کند.

در این پژوهش سعی شده است با استفاده از مدل مکسنت پراکنش پتانسیل رویشگاهی گونه بلוט ایرانی در استان لرستان مدل‌سازی و مهمترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش گونه مورد مطالعه تعیین شود. از نقشه‌های حاصل از این مدل‌سازی می‌توان برای یافتن زیستگاه‌های جدید، بررسی بهترین مناطق مناسب کشت و حفاظت از این گونه با ارزش استفاده نمود.

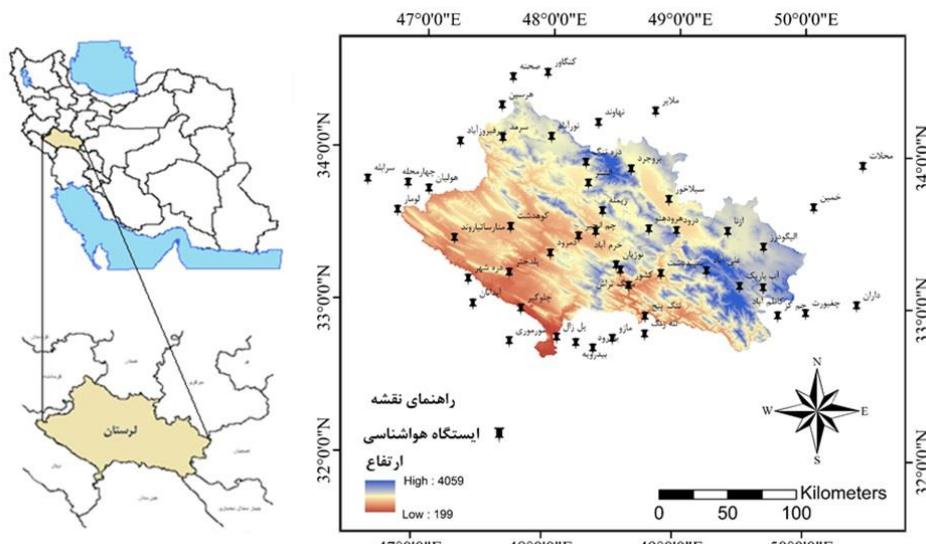
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان لرستان در محدوده جغرافیایی $۳۴^{\circ}۲۲'$ و $۳۲^{\circ}۳۷'$ و $۵۰^{\circ}۳۰'$ طول شرقی و $۴۶^{\circ}۵۱'$ عرض شمالی در ناحیه زاگرس مرکزی در جنوب غرب ایران واقع شده است. وسعت منطقه مورد مطالعه ۲۸۳۰۸ کیلومتر مربع و حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۹۹ متر و حداکثر آن ۴۰۵۹ متر می‌باشد. متوسط دمای سالانه $۱۶/۰/۵$ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه $۴۹۵/۳$ میلی‌متر است.

تهیه لایه‌های محیطی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار

برای تهیه نقشه پیش‌بینی پتانسیل رویشی گونه بلوط ایرانی به نقشه لایه‌های محیطی نیاز است. به همین منظور داده‌های متوسط دما و بارندگی سالانه و حداقل و حداکثر دما ۴۹ ایستگاه (شکل ۱) شامل سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنج و تبخیرسنج در طول سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۳۱ از ایستگاه‌های هواشناسی کشور و استان لرستان و شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان، بدست آمدند. سپس نقشه ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی (O'Donell and Ignizio, 2012) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ و کوکریجینگ با قدرت تفکیک ۳۰ متر در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 GS⁺ و ۵.۱ GS⁺ انتخاب شد. بهترین مدل برای تعیین بهترین روش درون‌یابی با استفاده از نرم‌افزار ۵.۱ GS⁺ انتخاب شد. سپس در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 به لایه‌های محیطی تبدیل شدند. همچنین از مدل رقومی ارتفاع (DEM^۶) ۳۰ متر برای تهیه لایه‌های شیب (Slope) و جهت (Aspect) در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 استفاده شد.



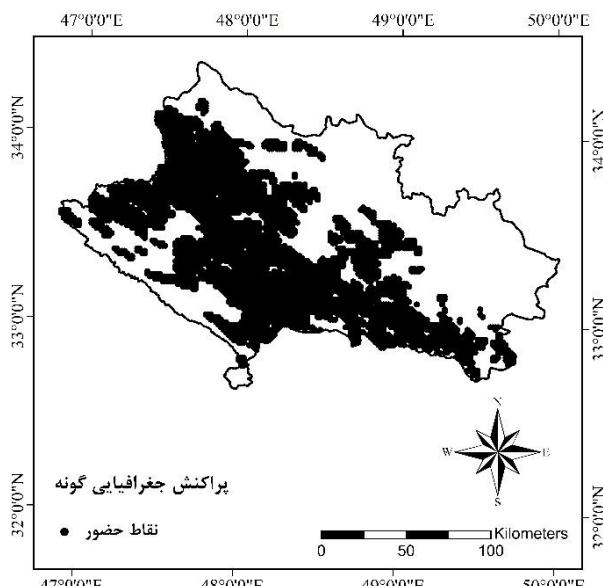
شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

آماده سازی لایه‌های ورودی به مدل مکسنت

از آنجا که مدل مکسنت با استفاده از داده‌های حضور کار می‌کند، برای بدست آوردن داده‌های حضور از نقشه‌های پراکنش پوشش گیاهی گونه بلوط ایرانی (۱:۲۵۰۰۰)، Google earth و همچنین نقشه‌های پوشش زمین استان لرستان استفاده شد و با داده‌های زمینی کنترل شد. برای جلوگیری از

⁶ Digital elevation model

خود همبستگی، نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 به شبکه‌های $1/5 \times 1/5$ کیلومتر تبدیل شدند و از هر سلول یک نقطه حضور، جمعباً ۵۰۶۴ نقطه حضور بدست آمد. این تعداد نقاط تقریباً کلیه نقاط حضور گونه بلوط ایرانی در سطح استان لرستان را پوشش می‌دهد (شکل ۲). متغیرهای تاثیرگذار بر روی پراکنش گونه که شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی و متغیرهای شیب، جهت و ارتفاع بودند، در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 با قدرت تفکیک ۳۰ متر تهیه و در نهایت به فرمت ASCII تبدیل شدند. همچنین لایه مربوط به نقاط حضور گونه مورد مطالعه با فرمت CSV برای استفاده در نرم‌افزار مکسنت آماده شد. پس از آماده سازی لایه‌ها از نرم‌افزار MaxEnt 3.3.3 برای انجام مدل‌سازی استفاده شد.



شکل ۲- پراکنش جغرافیایی گونه بلوط ایرانی در سطح استان لرستان

مدل‌سازی و اعتبارسنجی مدل

مدل‌سازی با استفاده از مدل مکسنت (حداکثر آنتروپی) انجام گردید. از ده بار اجرای مدل برای مدل‌سازی استفاده شد. در این روش مدل بصورت خودکار ۹۰ درصد داده‌ها را برای آموزش و ۵۰ درصد داده‌ها را برای تست استفاده می‌کند. مدل نهایی حاصل متوسط ده بار اجرای مدل می‌باشد. ابتدا همبستگی بین همه متغیرهای زیست‌محیطی بدست آمد. سپس مدل با همه متغیرها اجرا شد تا اثرات تقریبی هر متغیر زیست‌محیطی روی پراکنش گونه بلوط ایرانی مشخص شود. از متغیرهایی که دارای

همیستگی بالاتر از ۸۰ بودند، مهمترین آنها از نظر تأثیرگذاری روی اکولوژی گونه انتخاب شد. در مدل نهایی متغیرهایی که دارای سهم اثر یک درصد به بالا و همچنین از نظر نمودارهای جک نایف^۷ دارای تأثیر بیشتری بودند، انتخاب و وارد مدل گردید. از ارزیابی متقابل برای ایجاد مدل کالیبراسیون و مدل تست استفاده شد. به منظور ارزیابی دقیق پیش‌بینی مدل‌های پیش‌بینی شده حاصل از مدل مکسنت از تحلیل سطح زیر منحنی^۸ استفاده شد. تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه به عنوان بک گردوند پوینت و مقدار پریولنس^۹ ۰/۵٪ استفاده شد. بعد از انجام مدل‌سازی بدلیل اینکه خروجی مدل، یک نقشه احتمالاتی پیوسته است، تبدیل به نقشه حضور یا عدم حضور گردید. برای تعیین آستانه حضور، محققان روش‌های مختلفی را پیشنهاد دادند (Pearson et al., 2004; Liu et al., 2013) در این مطالعه بدلیل اینکه استفاده از حساسیت و اختصاصیت برابر^{۱۰} و همچنین حداکثر کردن حساسیت و اختصاصیت^{۱۱} مقدار بالایی داشت و باعث حذف تعداد زیادی از نقاط حضور می‌شد؛ برای بدست آوردن آستانه بهینه حضور با توجه به پیرسون و همکاران (Pearson et al., 2004) و همچنین کومار و همکاران (Kumar et al., 2014) با استفاده از نقاط حضور واقعی گونه بلوط ایرانی، مقادیر احتمالاتی از نقشه خروجی مدل مکسنت استخراج شد و مقادیر احتمالاتی از بزرگ به کوچک مرتب گردید و با محاسبه ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حذف داده‌های حضور، مقدارهای احتمالاتی آستانه حضور بدست آمد و بهترین آستانه برای تبدیل نقشه احتمالاتی به نقشه حضور و عدم حضور بدست آمد.

تعیین دامنه اکولوژیک عوامل محیطی تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی
برای تعیین دامنه اکولوژیک عوامل محیطی تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی از داده‌های حضور واقعی و خروجی مدل مکسنت استفاده شد. در داده‌های حضور واقعی ابتدا ارزش سلول‌های نقاط حضور از روی نقشه‌های پایه استخراج شد، سپس تعداد طبقات محاسبه و داده‌ها طبقه‌بندی شدند. برای خروجی مدل زمانی که نقشه پتانسیل زیستگاه از روی خروجی‌های مدل (هر مدلی که دقت کافی داشته باشد) بدست آمد، آن را باید به نقاط حضور تبدیل کرد، سپس ارزش نقاط حضور را از لایه‌های عوامل محیطی استخراج، آنها را طبقه‌بندی و فراوانی نسبی آنها را محاسبه کرد. لازم به ذکر است که در این مطالعه در ابتدا نقشه بهینه به شبکه $1/5 \times 1/5$ کیلومتر تبدیل شد و نقاط حضور از روی این نقشه بدست آمدند که شامل ۸۰۹۱ نقطه حضور بود.

⁷ Jackknife

⁸ Area under the curve (AUC)

⁹ Prevalence

¹⁰ Equal training sensitivity and specificity

¹¹ Maximizing training sensitivity and specificity

نتایج

در تحقیق حاضر از ۲۲ متغیر تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی استفاده شد (جدول ۱). همبستگی بین این متغیرها در جدول ۲ آورده شده است. مقدار بارندگی سه متغیر بارندگی خشک-ترین ماه، بارندگی خشکترین سه ماه متوالی و بارندگی گرمترین سه ماه متوالی خیلی کم و نزدیک صفر بود. چون این سه متغیر از نظر اکولوژیکی روی پراکنش گونه تأثیر نداشتند، از مدل سازی حذف گردیدند. نتایج نشان داد از بین ۱۹ متغیر دیگر، متغیرهای متوسط درجه حرارت سالانه، حداقل درجه حرارت سردترین ماه، تغییرات فصلی بارندگی، بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی، بارندگی سردترین سه ماه متوالی، ارتفاع و شبیه مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر روی پراکنش گونه بلوط ایرانی می-باشند. از این ۷ متغیر زیست اقلیمی به همراه اشکال مدل LQPH برای تهیه نقشه پتانسیل رویشی گونه مورد مطالعه استفاده شد (جدول ۳) که در این مدل سطح زیر منحنی (AUC) برابر با ۰/۶۶۹ است.

جدول ۱- اطلاعات توصیفی متغیرهای زیست محیطی مورد مطالعه

متغیر	توصیف	حداکثر	حداقل	متوسط	انحراف
		حداکثر	حداقل	متوسط	معیار
Bio1	متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتی گراد)	۲۴/۲۶	۱۱/۶۹	۱۶/۰۵	۲/۶۲
Bio2	متوسط دامنه روزانه درجه حرارت (درجه سانتی گراد)	۲۴/۴۳	۱۰/۶۱	۱۵/۶۹	۲/۲۳
Bio3	همدمایی (درجه سانتی گراد)	۴۸/۶۹	۲۷/۳۳	۳۷/۶۸	۳/۶۹
Bio4	تغییرپذیری فصلی دما (انحراف معیار×۱۰۰)	۱۰۰/۲۲	۷۹/۶۷۲	۹۲۰/۳۱	۲۳/۷۸
Bio5	حداکثر درجه حرارت گرمترین ماه (درجه سانتی گراد)	۴۴/۷۲	۳۱/۴۲	۳۸/۲۲	۲/۷۵
Bio6	حداکل درجه حرارت سردترین ماه (درجه سانتی گراد)	-۱۲/۲۰	۶/۶۷	-۳/۵۰	۳/۲۷
Bio7	دامنه درجه حرارت سالانه (درجه سانتی گراد)	۳۸/۸۴	۵۰/۴۶	۴۱/۸۴	۲/۳۸
Bio8	متوسط درجه حرارت مرطوبترین سه ماه متوالی (درجه سانتی گراد)	۲/۵۷	۱۳/۴۸	۷/۲۶	۲/۴۴
Bio9	متوسط درجه حرارت خشکترین سه ماه متوالی (درجه سانتی گراد)	۲۱/۶۳	۳۶/۶۲	۲۷/۵۴	۳/۳۷
Bio10	متوسط درجه حرارت گرمترین سه ماه متوالی (درجه سانتی گراد)	۲۱/۸۹	۳۶/۴۶	۲۷/۹۴	۳/۵۲
Bio11	متوسط درجه حرارت سردترین سه ماه متوالی (درجه سانتی گراد)	-۱/۰۱	۱۲/۰۷	۵/۱۸	۳/۰۱
Bio12	متوسط بارندگی سالانه (میلی متر)	۳۶۱/۸۴	۸۷۷/۵۲	۴۹۵/۲۷	۱۰۴/۱۳
Bio13	بارندگی مرطوبترین ماه (میلی متر)	۸۸/۹۶	۱۹۸/۰۰	۱۲۷/۴۲	۱۵/۷۵
Bio14	بارندگی خشکترین ماه (میلی متر)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Bio15	تغییرات فصلی بارندگی (میلی متر)	۱۰۰/۴۹	۱۱۴/۹۷	۱۰۸/۲۴	۳/۴۶
Bio16	بارندگی مرطوبترین سه ماه متوالی (میلی متر)	۱۸۶/۱۰	۳۵۷/۴۰	۲۵۳/۷۲	۳۵/۰۳
Bio17	بارندگی خشکترین سه ماه متوالی (میلی متر)	۰/۰۱	۲/۹۷	۰/۶۴	۰/۰۷
Bio18	بارندگی گرمترین سه ماه متوالی (میلی متر)	۱/۰۰	۵/۴۸	۲/۴۱	۱/۰۹
Bio19	بارندگی سردترین سه ماه متوالی (میلی متر)	۱۱۸/۰۷	۲۸۷/۵۶	۱۸۹/۷۷	۳۰/۲۲
Slope	شیب	۰/۰۰	۸۷/۵۶	۱۵/۲۲	۱۱/۶۶
Aspect	جهت	-	-	-	-
Dem	ارتفاع	۱۹۹/۰۰	۴۰۵۹/۰۰	۱۷۱۵/۴۴	۵۳۳/۸۱

جدول ۲- آزمون همبستگی بین متغیرهای زیستمحیطی

Dem	Aspect	Slope	Bio19	Bio18	Bio17	Bio16	Bio15	Bio13	Bio12	Bio11	Bio10	Bio9	Bio8	Bio7	Bio6	Bio5	Bio4	Bio3	Bio2	Bio1	متغیر		
																				۱/۰۰	Bio1		
																				۱/۰۰	-۰/۱۲	Bio2	
																				۱/۰۰	۰/۸۹	Bio3	
																				۱/۰۰	-۰/۰۳	۰/۴۶	Bio4
																				۱/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۳	Bio5
																				۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۲۶	Bio6
																				۱/۰۰	-۰/۳۷	-۰/۵۴	Bio7
																				۱/۰۰	-۰/۶۰	-۰/۰۲	Bio8
																				۱/۰۰	-۰/۱۲	-۰/۰۵	Bio9
																				۱/۰۰	-۰/۰۸	-۰/۰۰	Bio10
																				۱/۰۰	-۰/۰۶	-۰/۰۲	Bio11
																				۱/۰۰	-۰/۷۲	-۰/۶۳	Bio12
																				۱/۰۰	-۰/۵۹	-۰/۵۰	Bio13
																				۱/۰۰	-۰/۵۰	-۰/۱۷	Bio15
																				۱/۰۰	-۰/۶۹	-۰/۱۸	Bio16

ادامه جدول (۲)

Dem	Aspect	Slope	Bio19	Bio18	Bio17	Bio16	Bio15	Bio13	Bio12	Bio11	Bio10	Bio9	Bio8	Bio7	Bio6	Bio5	Bio4	Bio3	Bio2	Bio1	متغير	
			۱/۰۰	-۰/۸۷	۰/۴۳	۰/۰۰	-۰/۴۲	-۰/۵۷	-۰/۵۴	-۰/۵۹	-۰/۵۴	۰/۳۸	-۰/۴۷	-۰/۵۵	-۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۷	-۰/۵۷	Bio17			
			۱/۰۰	۰/۶۴	-۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۲۲	-۰/۱۳	-۰/۷۲	-۰/۶۴	-۰/۶۹	-۰/۷۰	-۰/۰۵	-۰/۴۷	-۰/۰۲	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۶۸	Bio18			
			۱/۰۰	-۰/۲۷	-۰/۳۶	۰/۶۲	-۰/۰۶	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۱۷	-۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۰۹	-۰/۶۱	-۰/۶۳	۰/۲۳	Bio19		
			۱/۰۰	۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۲۵	۰/۲۹	-۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	-۰/۲۷	-۰/۱۷	۰/۰۸	Slope	
			۱/۰۰	-۰/۰۲	-۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	-۰/۰۱	Aspect	
			۱/۰۰	-۰/۰۰	۰/۲۳	-۰/۱۹	۰/۶۱	۰/۳۸	-۰/۲۶	-۰/۰۰	۰/۲۱	-۰/۰۴	-۰/۷۱	-۰/۶۸	-۰/۷۰	-۰/۰۳	-۰/۶۰	-۰/۶۸	-۰/۲۲	-۰/۰۰	۰/۰۱	-۰/۷۱ Dem

جدول ۳- خلاصه تست‌های مدل‌سازی پراکنش گونه بلوط ایرانی

شماره مدل	متغیرها	تعداد متغیر	Features	RM	Test AUC	اجرای مدل
۱	همه متغیرها .Bio15 .Slope .Bio1 .Bio6 .DEM .Bio5 .Bio7 .Bio16 .Bio11 .Bio12 .Bio10 .Bio19 .Bio13 .Bio4 .Bio2 .Bio9 .Bio3 .Bio8 .Aspect .Bio6 .Bio16 .Bio1 .Dem .Slope .Bio15 .Bio19	۲۲	LQPTH	۱	.۰/۶۷۴	۱۰
۲		۱۹	LQPH	۱	.۰/۶۷۲	۱۰
۳		۷	LQPH	۱	.۰/۶۶۹	۱۰

اشکال مدل: L=Liner (مدل خطی)، T=Threshold ،P=Product ،Q=Quadratic (مدل نمایی)، H=Hinge (مدل منحنی) .RM= Regularization Multiplier .AUC=Area Under the Curve (سطح زیر منحنی) .نمره مدل = مدل ۱۰ بار اجرا شده است.

تعیین مهمترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی

مهمازین متغیرهای زیست‌اقلیمی تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی در جدول (۴) آورده شده است. نتایج نشان داد که متغیر زیست‌اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه (Bio1) بیشترین تأثیر را روی پراکنش گونه مورد مطالعه دارد. از دیگر متغیرهایی که بیشترین تأثیر را روی پراکنش گونه بلوط ایرانی داشت متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی (Bio16) است. شکل (۳-الف) میزان اثرات هر متغیر مشخص به تنهایی^{۱۲} و همه متغیرها بدون آن یک متغیر مشخص^{۱۳} و کل متغیرها باهم^{۱۴} را در مدل کالیبراسیون نشان می‌دهد و شکل (۳-ب) همین مشخصات را برای سطح زیر منحنی تست نشان می‌دهد. شکل (۳ (الف) و (ب) نشان دادند که با حذف متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی مقدار قدرت پیشگویی مدل کالیبراسیون و مقدار سطح زیر منحنی تست کاهش یافت. درنتیجه در متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی نسبت به دیگر متغیرها دارای اطلاعات بیشتری است. همچنین متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی به تنهایی و در ترکیب با دیگر متغیرها، قدرت پیشگویی و مقدار سطح زیر منحنی

¹²With only variable

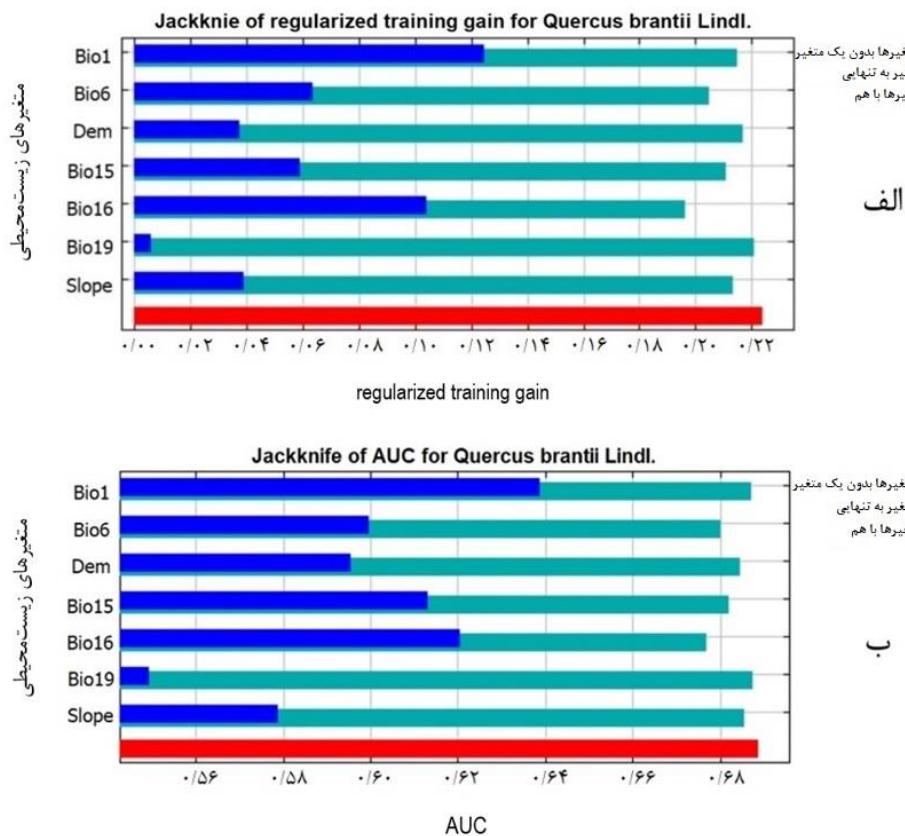
¹³Without variable

¹⁴With all variable

بالایی دارد. در صورتیکه متغیر زیستاقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه به تنها یی بیشترین قدرت را در پیشگویی پراکنش گونه مورد نظر دارد. این دو متغیر از متغیرهای تعیین کننده پراکنش گونه مورد مطالعه می‌باشند. به طور کلی سه متغیر زیستاقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه، بارندگی مرطوب- ترین سه ماه متوالی و حداقل درجه حرارت سردترین ماه به ترتیب ۳۸، ۲۴/۲ و ۱۳/۳ درصد بیشترین تأثیرگذاری را روی پراکنش گونه بلوط ایرانی دارند.

جدول ۴- متغیرهای استفاده شده در مدل نهایی و میزان اثرات هر متغیر در پراکنش گونه بلوط ایرانی

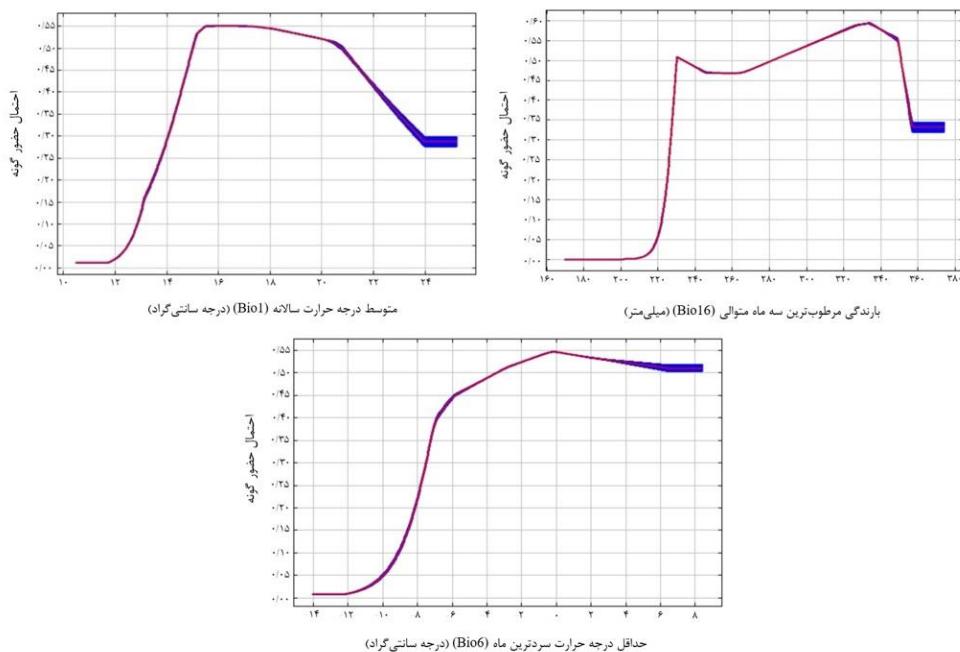
ردیف	متغیر	درصد تأثیر هر متغیر روی پراکنش گونه در مدل مکنت
۱	Bio1	۳۸
۲	Bio16	۲۴/۲
۳	Bio6	۱۳/۳
۴	Bio15	۱۰/۷
۵	Slope	۸/۹
۶	Dem	۴
۷	Bio19	۰/۸



شکل ۳- قدرت تخمین نسبی اثرات متغیرهای زیست‌اقلیمی متفاوت به دست آمده از **Jackknife** در مدل **MaxEnt** (الف) قدرت پیشگویی در مدل کالیبراسیون و (ب) سطح زیر منحنی در مدل تست. مقدارها از متوسط ۱۰ بار اجرای مدل بدست آمده‌اند.

منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرهای زیست‌اقلیمی تأثیرگذار در شکل (۴) و دامنه اکولوژیک و توزیع فراوانی نسی پراکنش گونه بلوط ایرانی در جدول (۵) آورده شده است. منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرهای زیست‌اقلیمی تأثیرگذار روی پراکنش پتانسیل گونه بلوط ایرانی نشان داد که احتمال حضور این گونه در متغیر زیست‌اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲ تا ۲۱/۵ درجه سانتی-گراد، متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی ۲۲۰ تا ۳۳۰ میلی‌متر و متغیر زیست-اقلیمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه ۱۰- تا صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد. براساس نتایج، دامنه اکولوژیک پتانسیل حضور این گونه در متغیر زیست‌اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳/۱ تا ۲۱/۵

درجه سانتی گراد است که ۹۷ درصد فراوانی پراکنش گونه در این محدوده قرار داشت. در متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرتبط ترین سه ماه متوالی ۹۹ درصد فراوانی نسبی پراکنش گونه در دامنه ۳۵۲/۲ تا ۲۲۷/۱ میلی متر قرار داشت. در متغیر زیست‌اقلیمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه دامنه اکولوژیک پتانسیل گونه از $-8/4$ تا $3/7$ درجه سانتی گراد است که ۹۸ درصد فراوانی پراکنش این گونه در این دامنه قرار گرفته است.



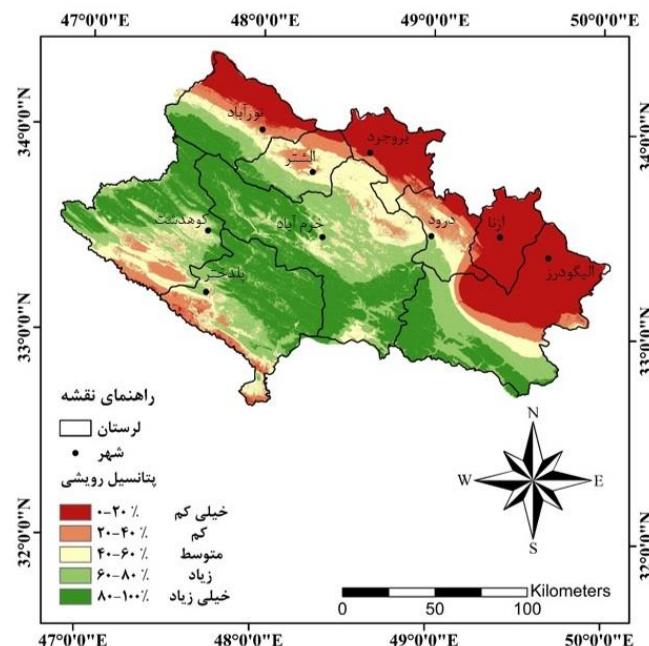
شکل ۴ - منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرهای زیست‌اقلیمی تأثیرگذار در پراکنش گونه بلوط ایرانی

جدول ۵- دامنه اکولوژیک و فراوانی نسبی مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه بلوط ایرانی

ردیف	متغیر	براساس نقاط حضور واقعی براساس نقشه زیستگاه (خروجی مکنت)	براساس نقشه زیستگاه (خروجی نسبی)	دامنه اکولوژیک	فرابوی نسبی
۱	Bio1	۱۲/۶ - ۲۱/۵	۰/۹۸	۱۳/۱ - ۲۱/۵	۰/۹۷
۲	Bio16	۲۲۶/۲ - ۳۵۲/۲	۰/۹۹	۲۲۷/۱ - ۳۵۲/۲	۰/۹۹
۳	Bio6	(-۹/۳) - ۳/۱	۰/۹۷	(-۸/۴) - ۳/۷	۰/۹۸

نقشه احتمالاتی پتانسیل رویشی گونه بلوط ایرانی در شکل (۵) نشان داده شده است. براساس نقشه احتمالاتی پتانسل رویشی، شمال غرب، غرب و جنوب شهرستان خرمآباد، شمال، شرق و جنوب-شرق پلدختر، شمال غرب کوهدهشت، جنوب غرب نورآباد و جنوب غرب الیگودرز بیشترین احتمال حضور و نواحی شهرستان‌های نورآباد، بروجرد، الیگودرز و بیشتر محدوده شهرستان ازنا کمترین احتمال حضور گونه بلوط ایرانی را دارند. مساحت مناسب هر طبقه در نقشه پتانسیل رویشی در جدول (۶) آورده شده است. مساحت طبقه دارای پتانسیل رویشی زیاد و خیلی زیاد به ترتیب برابر با ۶۱۹۵۵۹ و ۸۱۴۷۷۸ است که روی هم رفته ۵۰/۷ درصد سطح استان را به خود اختصاص می‌دهد. طبقه دارای پتانسیل رویشی کم و خیلی کم ۳۳ درصد سطح استان را در بر می‌گیرد.

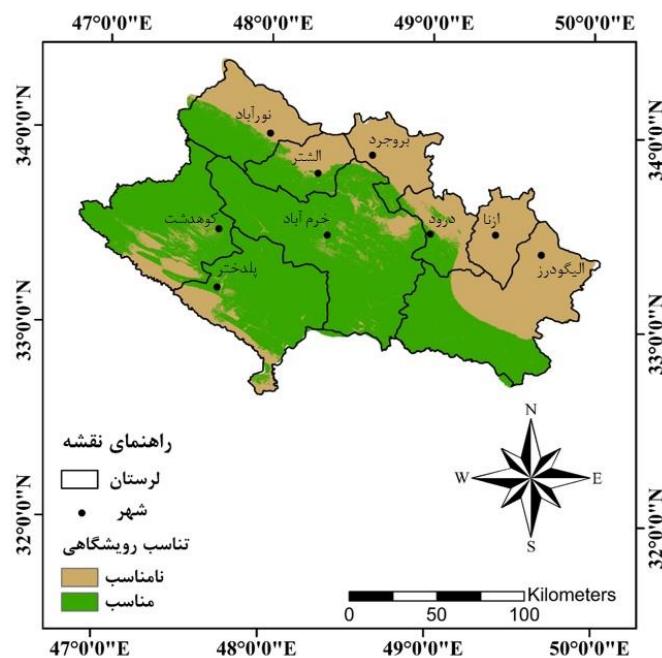
با توجه به درصد حذف داده‌های حضور واقعی و نقشه‌های ایجادی، آستانه بهینه حضور برابر ۰/۳۳ ۲۵۳ انتخاب شد و نقشه حضور و عدم حضور گونه ایجاد شد. در پنج درصد حذف داده‌های حضور تنها داده حضور از کل داده‌های حضور استفاده شده در مدل‌سازی حذف گردیدند. نقشه حضور و عدم حضور پتانسیل رویشگاه گونه مورد مطالعه نشان داده است که مناطقی از مرکز، جنوب شرق، شمال-غرب و جنوب غرب استان لرستان به عنوان رویشگاه‌های مناسب برای کشت گونه بلوط ایرانی می‌باشد (شکل ۶). مساحت مناطق مناسب و نامناسب برای رشد گونه بلوط ایرانی در شهرستان‌های مختلف، براساس نقشه حضور و عدم حضور گونه مورد مطالعه در جدول (۷) آورده شده است. بیشترین مساحت مناسب برای رویش گونه بلوط ایرانی با توجه به نقشه پتانسیل رویشگاه حضور و عدم حضور گونه مورد مطالعه حاصل از مدل مکسنت، مربوط به شهرستان خرمآباد به میزان ۶۰۵۸۸۲ هکتار می‌باشد.



شکل ۵- نقشه پتانسیل رویشی گونه بلوط ایرانی

جدول ۶- مساحت مناسب طبقات نقشه احتمالاتی پتانسیل رویشی گونه بلوط ایرانی

ردیف	احتمال حضور گونه (درصد)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۲۰-۰	۶۱۶۳۳۴	۲۱/۷۸
۲	۴۰-۲۰	۳۱۸۷۲۲	۱۱/۲۵
۳	۶۰-۴۰	۴۶۱۶۹۴	۱۶/۳۰
۴	۸۰-۶۰	۶۱۹۵۵۹	۲۱/۸۹
۵	۱۰۰-۸۰	۸۱۴۷۷۸	۲۸/۷۸



شکل ۶- نقشه تناسب رویشگاهی گونه بلوط ایرانی

جدول ۷- مساحت مناطق مناسب و نامناسب رشد گونه بلوط ایرانی در شهرستان‌های مختلف

ردیف	شهرستان	مناسب (هکتار)	نامناسب (هکتار)	نامناسب
۱	نورآباد	۱۱۱۶۶۹	۱۴۳۶۵۰	
۲	الشتر	۷۹۹۷۹	۶۹۳۱۵	
۳	بروجرد	۱۵۴۴۸	۱۴۱۱۹۷	
۴	خرم آباد	۶۰۵۸۸۲	۴۸۷۲۷	
۵	درود	۴۹۱۵۱	۸۷۸۸۱	
۶	ازنا	۰	۱۳۲۷۹۳	
۷	الیگودرز	۲۵۱۲۰۱	۲۷۹۵۴۲	
۸	پلدختر	۳۱۶۹۹۹	۶۹۹۳۹	
۹	کوهدهشت	۳۲۵۷۲۲	۷۱۱۸۵	

بحث و نتیجه‌گیری

تعیین مهمترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی

نتایج نشان داد که از ۲۲ متغیر زیستمحیطی، ۷ متغیر روی پراکنش گونه بلوط ایرانی تاثیر بیشتری دارند. از این ۷ متغیر دو متغیر مربوط به دما، سه متغیر مربوط به بارندگی، شیب و ارتفاع بود. مهمترین متغیر تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی متغیر زیستاقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه با ۳۸ درصد تاثیر است. از دیگر متغیرهای مهم، متغیر زیستاقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی با ۲۴/۲ درصد تاثیر می‌باشد. سومین عامل تأثیرگذار متغیر زیستاقلیمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه که ۱۳/۳ درصد تاثیر داشت.

همانطور که گفته شد اولین متغیر تأثیرگذار روی پراکنش گونه مورد مطالعه متغیر زیستاقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه است. اگر چه گونه بلوط ایرانی دارای پراکنش وسیعی در زاگرس می‌باشد (Sagheb-Talebi et al., 2014) و منطقه مورد مطالعه بخشی از دامنه پراکنش آن را تشکیل می‌دهد ولی منحنی پاسخ گونه‌ای مربوط به متغیر زیستاقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه نشان داد که احتمال حضور گونه تقریباً در ۱۲ درجه سانتی‌گراد حداقل، در متوسط درجه حرارت ۱۶ درجه سانتی‌گراد بیشترین و در یک مسیری ثابت و سپس کاهش می‌یابد. فراوانی نسبی پراکنش گونه مورد مطالعه هم در دامنه اکولوژیک ۱۳/۱ تا ۲۱/۵ درصد است. بنابراین مناطق با درجه حرارت متوسط کمتر از ۱۳/۱ درجه سانتی‌گراد که در زاگرس بلند قرار دارند و در حاشیه دامنه اکولوژیک گونه بلوط ایرانی قرار می‌گیرند، در حال حاضر مناسب رویش این گونه نمی‌باشد. همچنین منحنی پاسخ گونه‌ای متغیر زیستاقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه نشان داد که با افزایش دما احتمال حضور گونه بلوط ایرانی نیز کاهش می‌یابد. با این توضیح که کمبود آب در درختان بدلیل افزایش دمای بالا اتفاق می‌افتد در نتیجه دمای بالا همراه با کمبود آب باعث ایجاد تنشهای خشکی در درخت و کاهش ذخیره آب و جذب کردن و در نهایت باعث کاهش رشد می‌شود (Shi et al., 2012). با توجه به اقلیم نیمه خشک منطقه مورد مطالعه افزایش دما سبب کاهش میزان رطوبت و آب برای رویش گیاه می‌شود که این می‌تواند یکی عوامل محدود کننده رشد برای گیاه باشد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر، ممکن است مناطق با درجه حرارت بالای ۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد آنچنان برای رشد گونه بلوط ایرانی مناسب نباشند. در تحقیقی رادمهر و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی بر پهنه‌ای حلقه‌های رویشی درختان بلوط ایرانی گزارش دادند که بین بارندگی و رویش شعاعی درختان بلوط ایرانی در تمام ماهها رابطه مستقیمی وجود دارد و افزایش دما باعث کاهش رشد گونه بلوط ایرانی شد. همچنین حیدریان آفاخانی و همکاران (ب ۱۳۹۶) در تحقیقی با هدف پیش‌بینی

پراکنش بالقوه گونه بلوط ایرانی در استان چهارمحال و بختیاری به این نتیجه رسیدند که بارندگی سالانه و دمای سالانه بیشترین سهم را در تعیین مطابقت رویشگاه بلوط ایرانی داشته‌اند. در تحقیق حاضر متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی به تنهاًی و در ارتباط با دیگر متغیرهای زیست‌اقلیمی اهمیت بالایی را نشان داد. به نظر می‌رسد که بارش باران در طول سه ماه مرطوب متوالی نقش مهمی در فرآیندهای بیولوژی گیاه بازی کند. برای توضیح بیشتر می‌توان از منحنی پاسخ گونه‌ای و فراوانی نسبی پراکنش گونه کمک گرفت. منحنی پاسخ گونه‌ای در متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی نشان می‌دهد که احتمال حضور گونه از ۲۲۰ میلی‌متر بارندگی شروع می‌شود و در ۳۳۰ میلی‌متر بارندگی به حداقل خود می‌رسد و سپس کاهش پیدا می‌کند و در ۳۵۷ میلی‌متر کاهش شدیدی در میزان احتمال حضور گونه دیده می‌شود که احتمالاً مربوط به تأثیر عوامل محدود کننده دیگر است. به نظر می‌رسد کمینه بارندگی (تقرباً ۲۲۰ میلی‌متر) عامل محدود کننده‌تری نسبت به بیشینه بارندگی (تقرباً ۳۵۷ میلی‌متر) روی پراکنش گونه بلوط ایرانی باشد. چرا که مقدار بارندگی، پتانسیل در دسترس بودن مواد غذایی برای گونه را به نمایش می‌گذارد (Pausas and Austin, 2001).

منحنی پاسخ گونه‌ای متغیر زیست‌اقلیمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه نشان می‌دهد که گونه بلوط ایرانی می‌تواند دامنه نسبتاً وسیعی از درجه حرارت حداقل را تحمل کند چرا که منحنی پاسخ گونه نشان می‌دهد که حضور گونه از ۱۰ - درجه سانتی‌گراد شروع می‌شود و تا صفر درجه سانتی‌گراد به اوج خود می‌رسد و سپس کاهش می‌باید. فراوانی نسبی گونه نشان داد که بیشترین پراکنش گونه مورد مطالعه در حداقل درجه حرارت زیر صفر درجه سانتی‌گراد بوده است. بنابراین نشان دهنده این است که در بیشتر رویشگاه‌های این گونه در استان لرستان درجه حرارت حداقل، به پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد. باید توجه داشت که تحلیل‌های انجام گرفته می‌تواند تحت تأثیر صحت و دقیقت نقشه‌های محیطی ایجاد شده، مقیاس مورد مطالعه، تعداد نقاط حضور گونه و همچنین میزان (Vessella and Toledo et al., 2012). مطالعات وسلا و شایرون (Hidalgo et al., 2008; Schirone, 2013) و هیدالگو و همکاران (Quercus suber نیز نشان دادند که متغیر زیست‌اقلیمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه می‌تواند روی پراکنش بالقوه گونه *Q. suber* موثر باشد. بطور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که توزیع بالقوه گونه بلوط ایرانی بیشتر تحت تأثیر متوسط درجه حرارت سالانه، بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی و حداقل درجه حرارت سردترین ماه است. مطالعات محققان نیز نشان داده است که عوامل اقلیمی همچون دما و بارندگی مهمترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی در مقیاس بزرگ می‌باشند (Amissah et al., 2014; Swaine, 1996; Toledo et al., 2012).

تهریه نقشه پتانسیل پراکنش گونه بلوط ایرانی

برای تعیین صحت مدل‌های بدست آمده از AUC استفاده شد. در این مدل AUC برابر ۰/۶۶۹ است. مقدار سطح زیر منحنی می‌تواند تحت تأثیر تعداد و پراکنش نقاط حضور، سطح مورد مطالعه و آستانه انتخابی قرار گیرد (Liu et al., 2016; Jiménez-Valverde, 2012; Lobo et al., 2008; Norris, 2014; Peterson et al., 2008; Lobo et al., 2008) که دارای پراکنش وسیع می‌باشند، دارای مقدار سطح زیر منحنی کم می‌باشند (Lobo et al., 2008) و گونه‌های با دامنه پراکنش کم دارای مقدار سطح زیر منحنی بالایی می‌باشند (Liu et al., 2016; van Proosdij et al., 2016; Phillips, 2017). در بیشتر مطالعات مقدار سطح زیر منحنی ۰/۷ را برای ارزیابی مدل در نظر گرفته‌اند که این مقدار برای گونه‌های نادر که مقدار سطح زیر منحنی آنها زیاد است انتخابی خطا دار است و برای گونه‌های با پراکنش وسیع که بصورت تئوریکی مقدار سطح زیر منحنی نمی‌تواند از ۰/۷ بالاتر باشد باعث حذف مدل خوب برای مدل‌سازی می‌شود (van Proosdij et al., 2016). لیو و همکاران (Liu et al., 2016) مقدار سطح زیر منحنی برای مدل مکسنت را از ۰/۶۶ تا ۰/۹۹ گزارش کردند که مقدارهای پایین مربوط به گونه‌های با پراکنش وسیع و مقدارهای بالا برای گونه‌های با پراکنش کم بود. یکی از دلایل پایین بودن مقدار سطح زیر منحنی در مدل‌سازی گونه‌های با پراکنش زیاد این است که نقاط عدم حضور بخوبی طبقه‌بندی نمی‌شوند و وزن خطا را بالا می‌برند (Liu et al., 2016). البته ذکر این نکته مهم است که به ندرت در عمل مقدار سطح زیر منحنی بالاتر از ۰/۹ قرار می‌گیرد. مطالعات مقایسه‌ای مدل‌سازی با تکنیک‌های مختلف روی ۲۲۶ گونه نشان داده‌اند که تنها بخش کمی از مدل‌ها به مقدار ذکر شده رسیده‌اند، حتی مدل‌های خیلی قوی مقدار متوسط سطح زیر منحنی کمتر از ۰/۷۳ را بدست داده‌اند (Elith et al., 2006). اگر چه مطالعات زیادی مدل‌های با دقت بالایی را ذکر کرده‌اند (Liu et al., 2016) ولی مقدارهای ذکر شده عاری از خطا نمی‌باشند و ممکن است بخار این باشد که داده‌های ارزیابی و آموزش مدل مستقل نمی‌باشند (Veloz, 2009; Araujo and Guisan, 2006). از این رو همانطور که توسط سویتس (Swets, 1988) دامنه قابل قبول برای بعضی از سیستم‌ها همانند ارزیابی عکس‌های پزشکی، تست مواد، پیش‌بینی آب و هوا و غیره ارائه شده است، پیشنهاد می‌شود بر اساس اینکه گونه دارای پراکنش وسیع، متوسط یا کم است دامنه قابل قبولی ارائه گردد.

نقشه پتانسیل رویشی گونه بلوط ایرانی نشان داد که مناطقی از شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر، کوهدشت، نورآباد و الیگودرز بیشترین احتمال حضور گونه را دارند و حدود ۸۱۴۷۷۸ هکتار از سطح استان را پوشش می‌دهد. کمترین احتمال حضور گونه مورد مطالعه در مناطق شمالی استان در

شهرستان‌های نورآباد، بروجرد، الیگودرز و بیشتر محدوده شهرستان ازنا است که حدود ۶۱۶۳۳۴ هکتار از سطح استان را در بر گرفته است. با تطابق نقاط حضور حذف شده با نقشه پتانسیل رویشی، دیده شد که این نقاط در مناطقی نزدیک به حاشیه‌های نقشه پتانسیل رویشی قرار دارند. نقشه حضور و عدم حضور گونه نشان داد که ۶۲/۵ درصد استان لرستان برای رویش گونه بلوط ایرانی مناسب است که شهرستان خرم‌آباد به میزان ۶۰۵۸۸۲ هکتار بیشترین مساحت مناسب برای رویش گونه بلوط ایرانی را دارد و کمترین مربوط به شهرستان ازنا است که پتانسیل رویشی برای گونه بلوط ایرانی ندارد. با توجه به اینکه جنگل‌های بلوط تقریباً ۴۴ درصد سطح استان لرستان را پوشش می‌دهند (کوه‌سلطانی و همکاران ۱۳۹۷) می‌توان رویشگاه‌های جدیدی را برای این گونه معرفی کرد که در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر، کوه‌دشت، الیگودرز، درود، بروجرد، الشتر و نورآباد قرار دارند و مناطق نامناسب برای رویش گونه بلوط ایرانی در مناطقی از شهرستان‌های الیگودرز، درود، بروجرد، الشتر، نورآباد، کوه‌دشت، پلدختر و کل شهرستان ازنا قرار دارند.

در سال‌های اخیر جنگل‌های زاگرس در اثر تنش‌های محیطی همچون کاهش بارندگی، افزایش دما، عوامل انسانی و آفات دچار خشکیدگی شده‌اند. نابودی جنگل‌ها پیامدهای جبران ناپذیری از جمله برهم خوردن تعادل زیستمحیطی، کاهش پوشش تاجی جنگلی، افزایش فرسایش بادی و آبی، کاهش تنوع زیستی و گسترش بیابان‌زایی دارد (کوه سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به اینکه شدت خشکیدگی در مناطقی از جنوب غرب استان لرستان گزارش شده است (عطارد و همکاران، ۱۳۹۴)، به همین منظور برای کاهش تخریب جنگل‌های زاگرس پیشنهاد می‌شود گازرسانی به روستاهای بجای استفاده از چوب، تعادل بین دام و مرتع و توأم‌مند سازی جوامع روستایی در جهتی صورت گیرد که واپسی آنها به این عرصه‌ها کمتر شود. همچنین می‌توان از نقشه پتانسیل رویشی گونه بلوط ایرانی برای بازسازی مناطق تخریب شده کمک گرفت.

به طور کلی نتایج مدل مکنت نشان داد که متغیرهای زیست‌اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه، بارندگی مرتبط‌ترین سه ماه متواالی و حداقل درجه حرارت سردترین ماه مهمترین متغیرهای زیست-اقلیمی تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی هستند. نقشه پتانسیل گونه نشان می‌دهد که تقریباً ۶۲/۵ درصد سطح استان لرستان پتانسیل رویش گونه بلوط ایرانی را دارا می‌باشد که در این بین مناطق رویشی جدیدی خصوصاً در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر، کوه‌دشت و الیگودرز برای احیا و بازسازی رویشگاه برای این گونه با ارزش پیشنهاد می‌شود.

منابع

- اشرفی، ج، حسینی، ا، حسین زاده، ج، میرابوالفتحی، م. ۱۳۹۷. بررسی بیماری ذغالی بلوط در جنگل‌های بلوط دچار خشکیدگی استان ایلام، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مرتع ایران، ۱۶(۱): ۱-۱۲.
- امیراحمدی، ب، ذوالفاری، ر، میرزایی قره‌لر، م.ر. ۱۳۹۴. ارتباط بین خشکیدگی درختان بلوط ایرانی با عوامل محیطی و خصوصیات جنگل‌شناسی در جنگل حفاظتی دنا، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۶(۳): ۱۹-۲۷.
- پوربابائی، ح، چرافی، ر، ابراهیمی، س. ۱۳۹۴. بررسی ساختار تنوع گونه‌های چوبی در رویشگاه بلوط ایرانی (Quercus brantii Lindl.)، مطالعه موردی : منطقه دشتک، یاسوج، غرب ایران، مجله تحقیقات جنگل‌های زاگرس، ۲(۱): ۱-۱۷.
- پیری صحراءگرد، ح، زارع چاهوکی، م.ع، آذرنيوند، ح. ۱۳۹۴. کاربرد روش آنتروبی حداکثر در مدلسازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه‌های گیاهی (مطالعه موردی: مرتع بخش خلستان استان قم). مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۹(۴): ۸۱۹-۸۳۴.
- ترنیان، ف، آذرنيوند، ح، یزدانپرست، ر، زارع چاهوکی، م.ع، جعفری، م، کومار، س. ۱۳۹۶. تعیین مهمترین عوامل موثر بر پراکنش گونه Daphne mucronata Royle. و مدل سازی رویشگاه‌های پتانسیل آن، نشریه علمی-پژوهشی مرتع، ۱۱(۲): ۷۹-۱۹۳.
- حیدریان آقاخانی، م، تمرتاش، ر، جعفریان، ز، ترکش اصفهانی، م، طاطیان، م.ر. ۱۳۹۶ (الف). مدل سازی آشیان اقلیمی گونه بلوط ایرانی (Quercus brantii) با استفاده از مدل تحلیل ممیزی انعطاف پذیردر استان چهارمحال و بختیاری، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، ۵(۱۱): ۳۵-۴۸.
- حیدریان آقاخانی، م، تمرتاش، ر، جعفریان، ز، ترکش اصفهانی، م، طاطیان، م. ۱۳۹۶ (ب). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر گونه بلوط ایرانی (Quercus brantii) با استفاده از مدل سازی پراکنش گونه‌ای به منظور برنامه-ریزی حفاظتی، محیط‌شناسی، ۳۴(۳): ۴۷۱-۴۹۷.
- رادمهر، ع، سوسنی، ج، بالاپور، ش، حسینی قلعه بهمنی، س.م، سپهوند، ا. ۱۳۹۴. اثر متغیرهای اقلیمی (دما و بارندگی) بر پهنه‌ای حلقه‌های رویشی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در ناحیه زاگرس میانی (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان خرم‌آباد)، نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۲(۱): ۹۳-۱۱۰.
- زارع چاهوکی، م.ع، عباسی، م، آذرنيوند، ح. ۱۳۹۷. پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه گیاهی Stipa barbata با استفاده از روش مدل‌سازی آنتروبی حداکثر (مطالعه موردی: مرتع طالقان میانی)، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲(۱): ۳۵-۴۷.
- طالبی، م، ثاقب طالبی، خ، جهانبازی گوحانی، ح. ۱۳۸۵. بررسی نیاز رویشگاهی و برخی خصوصیات کمی و کیفی بلوط ایرانی Quercus brantii Lindl. در جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۴(۱): ۶۷-۷۹.

- طالشی، ح، جلالی، س.غ، علوفی، س.ج، حسینی، س.م، نعیمی، ب، ۱۳۹۹. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش بالقوه گونه بلند مازو (*Quercus castaneifolia* C.A.M) با استفاده از مدل‌سازی ترکیبی در جنگل‌های هیرکانی ایران، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۸ (۱۵): ۲۱-۱۰.
- عطارد، پ، صادقی، س.م.م، طاهری سرتشنیزی، ف، ساروئی، س، عباسیان، پ، مسیح پور، م، کردستمنی، ف، دریکوندی، آ، ۱۳۹۴. اثرگذاری عوامل اقلیمی و تبخیر تعرق بر زوال جنگل‌های زاگرس مرکزی در استان لرستان، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حفاظت حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۳ (۲): ۱۱۲-۹۷.
- کوه سلطانی، ش، آل شیخ، ع.ا، قرمزچشم، ب، مهری، س، ۱۳۹۷. بررسی پتانسیل خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس با استفاده از GIS و روش Fuzzy-AHP، اکوهیدرولوژی، ۵ (۲): ۷۲۵-۷۱۳.
- Abdelaa, M., Fois, M., Fenu, G., Bacchetta, G. 2019. Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crép. in Egypt. Ecological Informatics, 50: 68-75.
- Adhikari, D., Barik, S.K., Upadhyaya, K. 2012. Habitat distribution modelling for reintroduction of *Ilex khasiana* Purk., a critically endangered tree species of northeastern India. Ecological Engineering, 40: 37-43.
- Amissah, L., Mohren, G.M.J., Bongers, F., Hawthorne, W.D., Poorter, L. 2014. Rainfall and temperature affect tree species distribution in Ghana. Journal of Tropical Ecology, 30: 435-446.
- Araujo, M. B., Guisan, A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. Journal of Biogeography (J. Biogeogr.), 33:1677–1688.
- Coban, H.O. Örücü, O.K., Arslan, E.S. 2020. MaxEnt Modeling for Predicting the Current and Future Potential Geographical Distribution of *Quercus libani* Olivier. Sustainability, 12: 1-19.
- Elith J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S., Zimmermann, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. Ecography, 29: 129-151.
- Hidalgo, P.J., Mari'n, J.M., Quijada, J., Moreira, J.M. 2008. A spatial distribution model of cork oak (*Quercus suber*) in southwestern Spain: A suitable tool for reforestation. Forest Ecology and Management, 255: 25-34.
- Jiménez-Valverde, A. 2012. Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. Global Ecology and Biogeography, (Global Ecol. Biogeogr.), 21: 498–507.
- Kumar, S., Neven, L.G., Yee, W.L. 2014. Evaluating correlative and mechanistic niche models for assessing the risk of pest establishment. Ecosphere, 5(7): 1-23.

- Liu, C., Newell, G., White, M. 2016. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data. *Ecology and Evolution*, 2016, 6(1): 337–348.
- Liu, C., White, M., Newell, G. 2013. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography (J. Biogeogr.)*, 40: 778–789.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., Real, R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 145–151.
- McLaughlin, B.C., Zavaleta, E.S. 2012. Predicting species responses to climate change: demography and climate microrefugia in California valley oak (*Quercus lobata*). *Global change biology*, 18(7): 2301-2312.
- Morales, N., Fernández, I.C., Baca-González, V. 2017. MaxEnt's parameter configuration and small samples: are we paying attention to recommendations? A systematic review. *PeerJ*, 1-16.
- Norris, D. 2014. Model thresholds are more important than presence location type: Understanding the distribution of lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in a continuous Atlantic forest of southeast Brazil. *Tropical Conservation Science*, 7(3):529-547.
- O'Donnell, M.S., Ignizio, D.A. 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States: U.S. Geological Survey Data Series, 691, 10 p.
- Pausas, J.G., Austin, M. 2001. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal. *Journal of Vegetation Science*, 12: 153–166.
- Pearson, R.G., Dawson, T.P., Liu, C. 2004. Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and landcover data. *Ecography*, 27: 285-298.
- Peterson, A.T., Papes, M., Soberon, J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, 213, 63–72.
- Phillips, S.J. 2017. A Brief Tutorial on Maxent. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on XXXX-XX-XX.
- Phillips, S.J., Dudik, M., Schapire, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modelling, In: Proceeding of the 21st International Conference on Machine Learning. ACMPress, New York. pp. 655-662.
- Sagheb Talebi, K.H., Sajedi, T., Pourhashemi, M. 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. Springer, New York, 152.

- Shi, Z., Gao, J., Yang, X., Jia, Z., Shang, J., Feng, C., Lü, S. 2012. Response of Mongolian pine radial growth to clima in Hulunbuir Sand Land, Inner Mongolia, China. Journal of Food, Agriculture & Environment. 10(2): 884-890.
- Swaine, M. 1996. Rainfall and soil fertility as factors limiting forest species distributions in Ghana. Journal of Ecology, 84:419–428.
- Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857):1285-1293.
- Taleshi, H., Maasoumi Babarabi, M. 2013. Leaf morphologycal variation of *Quercus brantii* Lindl. Along an altitudinal gradient in Zagros forests of Fars Province, Iran. European Journal of Experimental Biology, 3(5): 463-468.
- Terribile, L.C., Olalla Tárraga, M.Á., Diniz Filho, J.A.F., Rodríguez, M.Á. 2009. Ecological and evolutionary components of body size: geographic variation of venomous snakes at the global scale. Biological Journal of the Linnean Society, 98(1): 94-109.
- Toledo, M., Peña-Claros, M., Bongers, F., Alarcón, A., Balcázar, J., Chuviña, J., Leaño, C., Licona, J.C., Poorter, L. 2012. Distribution patterns of tropical woody species in response to climatic and edaphic gradients. Journal of Ecology, 100: 253–263.
- van Proosdij, A.S.J., Sosef, M.S.M., Wieringa, J.J., Raes, N. 2016. Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. Ecography, 39: 542–552.
- Veloz, S.D. 2009. Spatially autocorrelated sampling falsely inflates measures of accuracy for presence-only niche models. Journal of Biogeography (J. Biogeogr.), 36:2290–2299.
- Vessella, F., Schirone, B. 2013. Predicting potential distribution of *Quercus suber* in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements. Forest Ecology and Management, 304: 150-161.
- Yi, Y.J., Cheng, X., Yang, Z.F., Zhang, S.H. 2016. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan. China. Ecological. Engineering, 92: 260–269.
- Zhang, K., Yao, L., Meng, J., Tao, J. 2018. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climatic change. Science of the Total Enviroment, 634: 1326-1334.