



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"

دوره نهم، شماره هجدهم

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

علمی-پژوهشی

مدل‌سازی رویشگاه و تعیین متغیرهای زیست‌محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در زیستگاه‌های جنگلی استان لرستان

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

^۱ کارشناسی ارشد علوم گیاهی-سیستماتیک و بوم‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

^۲ استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۵

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 مکسنت 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 زیست‌محیطی 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 ۳۸، ۲۴/۲ و ۱۳/۳ درصد، بیشترین تأثیر را بر روی پراکنش گونه بلوط ایرانی داشتند. مقدار سطح زیر منحنی (AUC) مدل برابر ۰/۶۶۹ به‌دست آمد و از مقدار آستانه ۰/۳۳ برای تبدیل نقشه احتمالاتی به نقشه حضور و عدم حضور گونه استفاده شد. نقشه پتانسیل رویشی گونه نشان می‌دهد که تقریباً ۶۲/۵ 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 زیست‌اقليمی، مدل‌های بوم‌شناختی، MaxEnt

مقدمه

امروزه با پیشرفت در فن‌آوری 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 مکسنت^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 (ترینان 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 تغییر در متغیرهای محیطی انتخاب شده می‌توان حداکثر بی‌نظمی روی گونه مورد مطالعه ایجاد کرد و رویشگاه آن را تحت تأثیر قرار داد. برای استفاده از مدل مکسنت، 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 Entropy Method

مدل و به خاطر یادگیری ماشینی بودن آن در مطالعات مختلف همچون درک رابطه بین حضور گونه-های 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 گونه-های گیاهی در بین محققان مورد استفاده قرار می‌گیرد (پیری صحراگرد و همکاران، ۱۳۹۴؛ ترنیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ; Yi et al., 2016; Morales et al., 2017; 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 با وضوح بالا و پایین، دقت و صحت 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، تعدیل آب و هوا و توازن اقتصادی و اجتماعی ایفا می‌کند (طالبی 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 مک لاگالین و زاوالتا (McLaughlin and Zavaleta, 2012) به برداشت صحرایی 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 طالبی 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 آقاخانی و همکاران (الف ۱۳۹۶) طی مطالعه‌ای مدل‌سازی آشیان اقلیمی گونه بلوط 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 بلوط تحت تأثیر خشکیدگی قرار گرفته‌اند. با وجود اینکه هنوز دلیل اصلی زوال جنگل‌های بلوط مشخص نشده است، اما طبق تحقیقات انجام گرفته عواملی همچون تغییرات اقلیمی و ریزگردها، بیماری قارچ زغالی بلوط و سوسک‌ها، رقابت، قطر و سن درخت، کشت زیراشکوب، آتش‌سوزی، برداشت چوب و چرای دام را از عوامل تأثیرگذار روی خشکیدگی بلوط 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 بوم‌شناختی 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 بلوط 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.

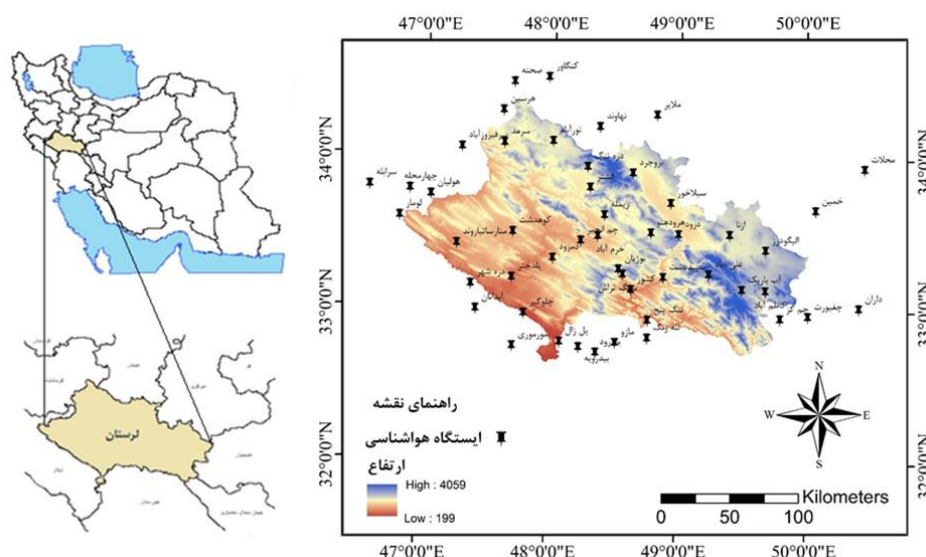
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان لرستان در محدوده جغرافیایی $46^{\circ}51'$ و $50^{\circ}30'$ طول شرقی و $32^{\circ}37'$ و $34^{\circ}22'$ عرض شمالی در ناحیه زاگرس مرکزی در جنوب غرب ایران واقع شده است. وسعت منطقه مورد مطالعه 28308 کیلومتر مربع و حداقل ارتفاع از سطح دریا 199 متر و حداکثر آن 4059 متر می‌باشد. متوسط دمای سالانه $16/05$ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه $495/3$ 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، باران سنج 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 و GS+ 5.1 تهیه شد. بهترین مدل برای تعیین بهترین روش درون‌یابی با استفاده از نرم‌افزار GS+ 5.1 انتخاب شد. سپس در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 به لایه‌های محیطی تبدیل شدند. همچنین از مدل رقومی ارتفاع (DEM⁶) ۳۰ متر برای تهیه لایه‌های شیب (Slope) و جهت (Aspect) در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 استفاده شد.



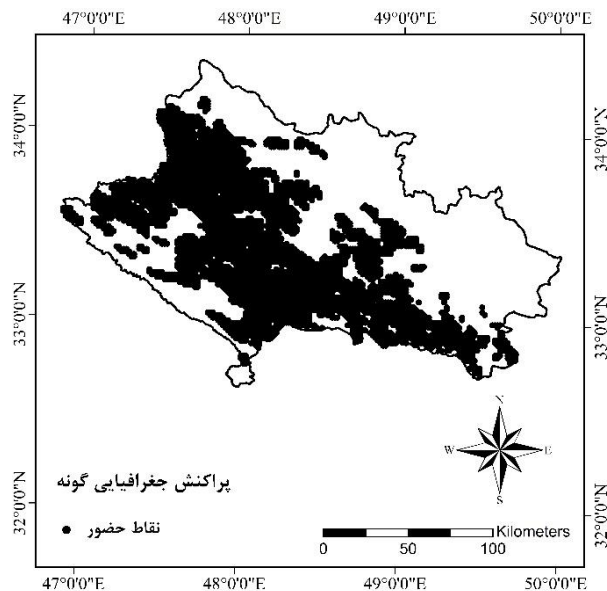
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

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 (۱:۲۵۰۰۰۰)، 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، جمعاً 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 ده 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

همبستگی 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 کالبراسیون و مدل تست استفاده شد. به منظور ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌های پیش‌بینی شده حاصل از مدل مکسنت از تحلیل سطح زیر منحنی^۸ استفاده شد. تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه به عنوان بک گروند 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) به دست 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 ۱/۵×۱/۵ کیلومتر تبدیل شد و نقاط حضور از روی این نقشه به دست 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 مدل‌سازی 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 شیب مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر روی پراکنش گونه بلوط ایرانی می‌باشند. 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	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف معیار
Bio1	متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتی گراد)	۱۱/۶۹	۲۴/۲۶	۱۶/۰۵	۲/۶۲
Bio2	متوسط دامنه روزانه درجه حرارت (درجه سانتی گراد)	۱۰/۶۱	۲۴/۴۲	۱۵/۶۹	۲/۲۳
Bio3	همدمایی (درجه سانتی گراد)	۲۷/۳۳	۴۸/۶۹	۳۷/۶۸	۳/۶۹
Bio4	تغییرپذیری فصلی دما (انحراف معیار × ۱۰۰)	۷۹۶/۷۲	۱۰۰۶/۲۲	۹۲۰/۳۱	۳۳/۷۸
Bio5	حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین ماه (درجه سانتی گراد)	۳۱/۴۲	۴۴/۷۲	۳۸/۲۲	۲/۷۵
Bio6	حداقل 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 (میلی‌متر)	۳۶۱/۸۴	۸۷۷/۵۲	۴۹۵/۲۷	۱۰۴/۱۳
Bio13	بارندگی مرطوب‌ترین ماه (میلی‌متر)	۸۸/۹۶	۱۹۸/۰۰	۱۲۷/۴۲	۱۵/۷۵
Bio14	بارندگی خشک‌ترین ماه (میلی‌متر)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Bio15	تغییرات فصلی بارندگی (میلی‌متر)	۱۰۰/۴۹	۱۱۴/۹۷	۱۰۸/۲۴	۳/۴۶
Bio16	بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی (میلی‌متر)	۱۸۶/۱۰	۳۵۷/۴۰	۲۵۳/۷۲	۳۵/۰۳
Bio17	بارندگی خشک‌ترین سه ماه متوالی (میلی‌متر)	۰/۰۱	۲/۹۷	۰/۶۴	۰/۵۷
Bio18	بارندگی گرم‌ترین سه ماه متوالی (میلی‌متر)	۱/۰۰	۵/۴۸	۲/۴۱	۱/۰۹
Bio19	بارندگی سردترین سه ماه متوالی (میلی‌متر)	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 زیست محیطی

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	-۰/۱۶	Bio3	
																	۱/۰۰	-۰/۲۴	-۰/۰۳	۰/۴۶	Bio4	
																۱/۰۰	-۰/۵۴	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۸۶	Bio5	
															۱/۰۰	-۰/۶۴	-۰/۲۶	-۰/۳۷	-۰/۵۴	-۰/۷۴	Bio6	
														۱/۰۰	-۰/۴۰	-۰/۱۱	-۰/۱۳	-۰/۷۳	-۰/۸۵	-۰/۰۶	Bio7	
													۱/۰۰	-۰/۰۲	-۰/۷۰	-۰/۸۴	-۰/۴۲	-۰/۶۰	-۰/۰۲	-۰/۹۶	Bio8	
											۱/۰۰	-۰/۹۷	-۰/۰۲	-۰/۷۱	-۰/۹۰	-۰/۵۳	-۰/۱۲	-۰/۰۵	-۰/۹۸	-۰/۹۵	Bio9	
										۱/۰۰	-۰/۹۸	-۰/۹۶	-۰/۰۹	-۰/۶۷	-۰/۸۹	-۰/۶۰	-۰/۰۸	-۰/۰۰	-۰/۹۵	-۰/۹۵	Bio10	
											۱/۰۰	-۰/۹۶	-۰/۹۷	-۰/۹۹	-۰/۰۳	-۰/۷۰	-۰/۸۵	-۰/۳۹	-۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۹۶	Bio11
									۱/۰۰	-۰/۰۹	-۰/۱۲	-۰/۱۶	-۰/۰۶	-۰/۵۲	-۰/۳۵	-۰/۱۶	-۰/۲۶	-۰/۷۲	-۰/۶۳	-۰/۲۰	Bio12	
								۱/۰۰	-۰/۶۶	-۰/۲۰	-۰/۱۵	-۰/۱۶	-۰/۲۰	-۰/۲۶	-۰/۱۰	-۰/۱۳	-۰/۱۶	-۰/۵۹	-۰/۵۰	-۰/۱۷	Bio13	
							۱/۰۰	-۰/۰۴	-۰/۶۷	-۰/۰۹	-۰/۱۰	-۰/۱۲	-۰/۰۵	-۰/۳۸	-۰/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۲۱	-۰/۳۷	-۰/۲۹	-۰/۱۸	Bio15	
						۱/۰۰	-۰/۶۹	-۰/۳۹	-۰/۸۷	-۰/۴۰	-۰/۴۱	-۰/۴۶	-۰/۳۸	-۰/۶۰	-۰/۵۳	-۰/۴۵	-۰/۳۳	-۰/۷۱	-۰/۶۳	-۰/۵۱	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	متغیر
					۱/۰۰	-۰/۶۷	۰/۴۳	۰/۰۰	-۰/۴۲	-۰/۵۷	-۰/۵۴	-۰/۵۹	-۰/۵۴	۰/۳۸	-۰/۴۷	-۰/۵۵	-۰/۲۱	۰/۳۳	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	-۰/۷۴	-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	-۰/۵۰	۰/۵۱	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	۰/۱۳	-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	-۰/۰۱	-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	-۰/۷۰	-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	۲۲	LQPTH	۱	۰/۶۷۴	۱۰
۲	.Bio12 .Bio10 .Bio19 .Bio13 .Bio4 .Bio2 و Bio9 .Bio3 .Bio8 Aspect .Bio6 .Bio16 .Bio1	۱۹	LQPH	۱	۰/۶۷۲	۱۰
۳	و Dem .Slope .Bio15 Bio19	۷	LQPH	۱	۰/۶۶۹	۱۰

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

تعیین مهمترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی

مهمترین متغیرهای زیست‌اقليمی تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی در جدول (۴) آورده شده است. نتایج نشان داد که متغیر زیست‌اقليمی 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 زیست‌اقليمی 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 زیست‌اقليمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی مقدار قدرت پیشگویی مدل کالیبراسیون و مقدار سطح زیر منحنی تست کاهش یافت. در نتیجه در متغیر زیست‌اقليمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی نسبت به دیگر متغیرها دارای اطلاعات بیشتری است. همچنین متغیر زیست‌اقليمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی به تنهایی و در ترکیب با دیگر متغیرها، قدرت پیشگویی و مقدار سطح زیر منحنی

¹²With only variable

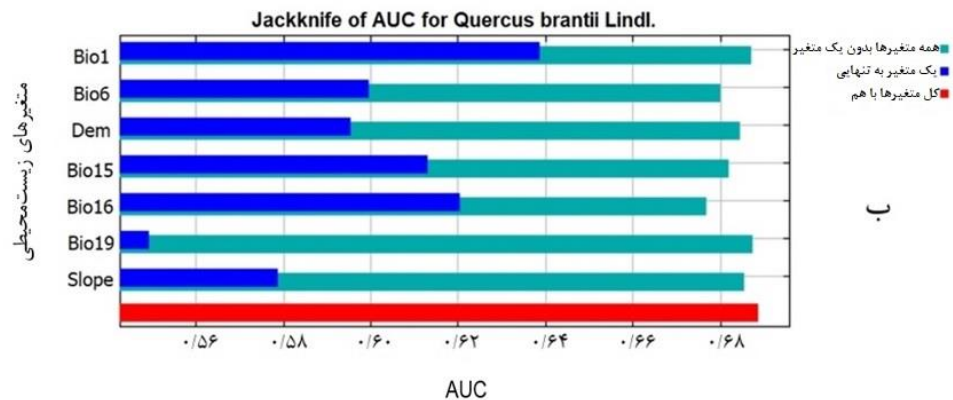
¹³ Without variable

¹⁴ With all variable

بالایی دارد. در صورتیکه متغیر زیست‌اقليمی متوسط درجه حرارت سالانه به تنهایی 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 زیست‌اقليمی 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

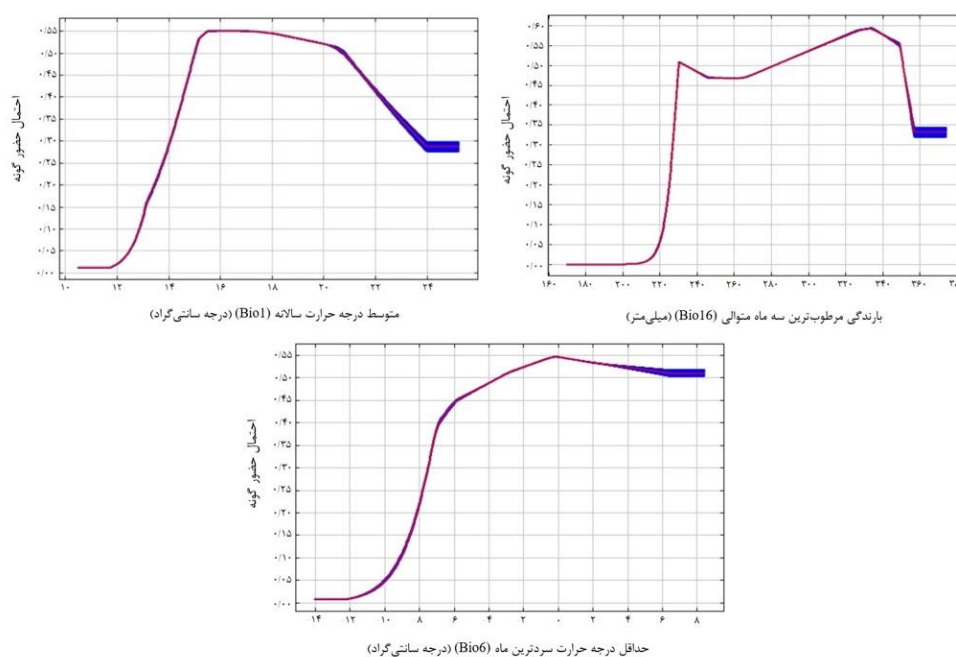
ردیف	متغیر	درصد تأثیر هر متغیر روی پراکنش گونه در مدل مکسنت
۱	Bio1	۳۸
۲	Bio16	۲۴/۲
۳	Bio6	۱۳/۳
۴	Bio15	۱۰/۷
۵	Slope	۸/۹
۶	Dem	۴
۷	Bio19	۰/۸



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

منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرهای زیست اقلیمی تأثیرگذار در شکل (۴) و دامنه اکولوژیک و توزیع فراوانی نسبی پراکنش گونه بلوط ایرانی در جدول (۵) آورده شده است. منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرهای زیست اقلیمی تأثیرگذار روی پراکنش پتانسیل گونه بلوط ایرانی نشان داد که احتمال حضور این گونه در متغیر زیست اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲ تا ۲۱/۵ درجه سانتی-گراد، متغیر زیست اقلیمی 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 زیست اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳/۱ تا ۲۱/۵

درجه سانتی‌گراد است که ۹۷ درصد فراوانی پراکنش گونه در این محدوده قرار داشت. در متغیر زیست‌اقلیمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی ۹۹ درصد فراوانی نسبی پراکنش گونه در دامنه ۲۲۷/۱ تا ۳۵۲/۲ میلی‌متر قرار داشت. در متغیر زیست‌اقلیمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه دامنه اکولوژیک پتانسیل گونه از ۸/۴- تا ۳/۷ درجه سانتی‌گراد است که ۹۸ درصد فراوانی پراکنش این گونه در این دامنه قرار گرفته است.



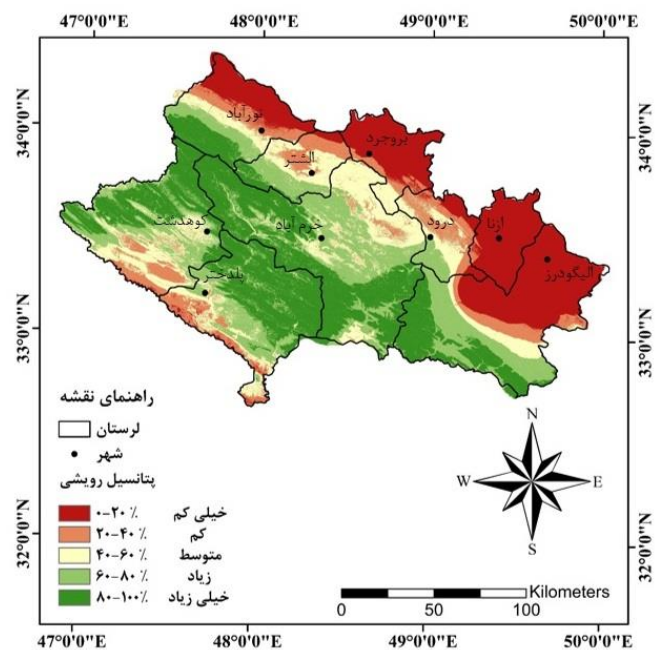
شکل ۴ - منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرهای زیست‌اقلیمی تأثیرگذار در پراکنش گونه بلوط ایرانی

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

ردیف	متغیر	براساس نقاط حضور واقعی	براساس نقشه پتانسیل زیستگاه (خروجی مکسنت)
۱	Bio1	دامنه اکولوژیک ۲۱/۵ - ۱۲/۶	فراوانی نسبی ۰/۹۸
۲	Bio16	دامنه اکولوژیک ۳۵۲/۲ - ۲۲۶/۲	فراوانی نسبی ۰/۹۹
۳	Bio6	دامنه اکولوژیک ۳/۱ - (-۹/۳)	فراوانی نسبی ۰/۹۷

نقشه احتمالاتی پتانسیل رویشی گونه بلوط ایرانی در شکل (۵) نشان داده شده است. براساس نقشه احتمالاتی پتانسیل رویشی، شمال غرب، غرب و جنوب شهرستان خرم آباد، شمال، شرق و جنوب-شرق پلدختر، شمال غرب کوهدشت، جنوب غرب نورآباد و جنوب غرب الیگودرز بیشترین احتمال حضور و نواحی شمال شهرستان های نورآباد، بروجرذ، 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 می دهد. طبقه دارای پتانسیل رویشی کم و خیلی کم ۳۳ درصد سطح استان را در بر می گیرد.

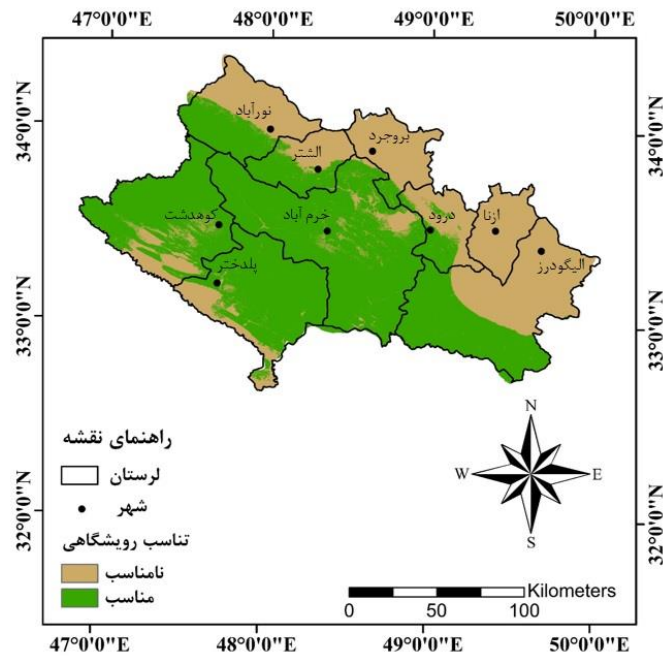
با توجه به درصد حذف داده های حضور واقعی و نقشه های ایجاد، آستانه بهینه حضور برابر ۰/۳۳ انتخاب شد و نقشه حضور و عدم حضور گونه ایجاد شد. در پنج درصد حذف داده های حضور تنها ۲۵۳ داده حضور از کل داده های حضور استفاده شده در مدل سازی حذف گردیدند. نقشه حضور و عدم حضور پتانسیل رویشگاه گونه مورد مطالعه نشان داده است که مناطقی از مرکز، جنوب شرق، شمال-غرب و جنوب غرب استان لرستان به عنوان رویشگاه های مناسب برای کشت گونه بلوط ایرانی می باشد (شکل ۶). مساحت مناطق مناسب و نامناسب برای رشد گونه بلوط ایرانی در شهرستان های 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 خرم آباد به میزان ۶۰۵۸۸۲ هکتار می باشد.



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	۰-۲۰	۶۱۶۳۳۴	۲۱/۷۸
۲	۲۰-۴۰	۳۱۸۷۲۲	۱۱/۲۵
۳	۴۰-۶۰	۴۶۱۶۹۴	۱۶/۳۰
۴	۶۰-۸۰	۶۱۹۵۵۹	۲۱/۸۹
۵	۸۰-۱۰۰	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)
۱	نورآباد	۱۱۱۶۶۹	۱۴۳۶۵۰
۲	الشتر	۷۹۹۷۹	۶۹۳۱۵
۳	بروجرد	۱۵۴۴۸	۱۴۱۱۹۷
۴	خرم‌آباد	۶۰۵۸۸۲	۴۸۷۲۷
۵	درود	۴۹۱۵۱	۸۷۸۸۱
۶	ازنا	۰	۱۳۲۷۹۳
۷	الیگودرز	۲۵۱۲۰۱	۲۷۹۵۴۲
۸	پلدختر	۳۱۶۹۹۹	۶۹۹۳۹
۹	کوهدشت	۳۲۵۷۲۲	۷۱۱۸۵

بحث و نتیجه گیری

تعیین مهمترین عوامل تأثیرگذار روی پراکنش گونه بلوط ایرانی

نتایج نشان داد که از ۲۲ متغیر زیست‌محیطی، ۷ متغیر روی پراکنش گونه بلوط ایرانی تأثیر 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 زیست‌اقليمی متوسط درجه حرارت سالانه با ۳۸ درصد تأثیر است. از دیگر متغیرهای مهم، متغیر زیست‌اقليمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی با ۲۴/۲ درصد تأثیر می‌باشد. سومین عامل تأثیرگذار متغیر زیست‌اقليمی حداقل درجه حرارت سردترین ماه که ۱۳/۳ درصد تأثیر داشت.

همانطور که گفته شد اولین متغیر تأثیرگذار روی پراکنش گونه مورد مطالعه متغیر زیست‌اقليمی 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 زیست‌اقليمی 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، ۹۷ 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 زیست‌اقليمی 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 کربن 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 پهنای 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 آقاخانی 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 مطلوبیت رویشگاه بلوط ایرانی داشته‌اند. در تحقیق حاضر متغیر زیست‌اقليمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی به تنهایی و در ارتباط با دیگر متغیرهای زیست‌اقليمی 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 زیست‌اقليمی بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی نشان می‌دهد که احتمال حضور گونه از ۲۲۰ میلی‌متر بارندگی شروع می‌شود و در ۳۳۰ میلی‌متر بارندگی به حداکثر 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 (تقریباً ۲۲۰ میلی‌متر) عامل محدود کننده‌تری نسبت به بیشینه بارندگی (تقریباً 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 زیست‌اقليمی 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 می‌یابد. 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 دقت نقشه‌های محیطی ایجاد شده، مقیاس مورد مطالعه، تعداد نقاط حضور گونه و همچنین میزان دقت مدل‌سازی قرار بگیرد (Toledo et al., 2012). مطالعات وسلا و شایرون (Vessella and Schirone, 2013) و هیدالگو و همکاران (Hidalgo et al., 2008) روی پیش‌بینی پراکنش گونه *Quercus suber* نیز نشان دادند که متغیر زیست‌اقليمی 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 (Amisshah et al., 2014; Swaine, 1996; Toledo et al., 2012).

تهیه 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 (Lobo et al., 2008; Jiménez-Valverde, 2012; Liu et al., 2016; Norris, 2014). به همین خاطر این شاخص ارزیابی توسط محققان زیادی مورد نقد قرار گرفته است (Peterson et al., 2008; Lobo et al., 2008). مطالعات نشان داده است که مدل‌سازی گونه‌هایی که دارای پراکنش وسیع می‌باشند، دارای مقدار سطح زیر منحنی کم می‌باشند (Lobo et al., 2008; van Proosdij et al., 2016; Liu et al., 2016) و گونه‌های با دامنه پراکنش کم دارای مقدار سطح زیر منحنی بالایی می‌باشند (Phillips, 2017; Liu et al., 2016). 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 تئوریک 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 بخاطر 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 (عطار و همکاران، ۱۳۹۴)، به همین منظور برای کاهش تخریب جنگل‌های زاگرس پیشنهاد می‌شود گازرسانی به روستاها بجای استفاده از چوب، تعادل بین دام و مرتع و توانمند سازی جوامع روستایی در جهتی صورت گیرد که وابستگی 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 مکسنت نشان داد که متغیرهای زیست‌اقلیمی متوسط درجه حرارت سالانه، بارندگی مرطوب‌ترین سه ماه متوالی 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 مراتع ایران، ۱۶(۱): ۱-۱۲.
- امیراحمدی، ب.، ذوالفقاری، ر.، میرزایی قره‌لر، م. ۱۳۹۴. ارتباط بین خشکیدگی درختان بلوط ایرانی با عوامل محیطی و خصوصیات جنگل‌شناسی در جنگل حفاظتی دنا، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۶(۳): ۱۹-۲۷.
- پوربائنی، ح.، چراغی، 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 صحراگرد، ح.، زارع چاهوکی، م.ع.، آذرنیوند، ح. ۱۳۹۴. کاربرد روش آنترویی حداکثر در مدلسازی پیش بینی پراکنش رویشگاه‌های گیاهی (مطالعه موردی: مراتع بخش خلجستان استان قم). مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۹(۴): ۸۱۹-۸۳۴.
- ترنیان، ف.، آذرنیوند، 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): ۱۷۹-۱۹۳.
- حیدریان آقاخانی، م.، تمرناش، ر.، جعفریان، ز.، ترکش اصفهانی، م.، طاطیان، م. ۱۳۹۶ (الف). مدل سازی آشیان اقلیمی گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) با استفاده از مدل تحلیل ممیزی انعطاف پذیر در استان چهارمحال و بختیاری، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، ۵(۱۱): ۳۵-۴۸.
- حیدریان آقاخانی، م.، تمرناش، 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 برنامه‌ریزی حفاظتی، محیط‌شناسی، ۳۴(۳): ۴۹۷-۵۱۱.
- رادمهر، ع.، سوسنی، ح.، بالاپور، ش.، حسینی قلعه بهمنی، س.م.، سپهوند، ا. ۱۳۹۴. اثر متغیرهای اقلیمی (دما و بارندگی) بر پهنای 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.، آذرنیوند، ح. ۱۳۹۷. پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه گیاهی *Stipa barbata* با استفاده از روش مدل‌سازی آنترویی حداکثر (مطالعه موردی: مراتع طالقان میانی)، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲(۱): ۳۵-۴۷.
- طالبی، م.، ناقب طالبی، خ.، جهانبازی گوجانی، 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.، علوی، 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): ۱۰-۲۱.
- عطارد، پ.، صادقی، س.م.م.، طاهری سرتشنیزی، ف.، ساروئی، س.، عباسیان، پ.، مسیح پور، م.، کردستمی، ف.، دری‌کوندی، آ. ۱۳۹۴. اثرگذاری عوامل اقلیمی و تبخیر-تعرق بر زوال جنگل‌های زاگرس مرکزی در استان لرستان، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۳ (۲): ۹۷-۱۱۲.
- کوه سلطانی، ش.، آل شیخ، ع.ا.، قرمزچشمه، ب.، مهری، س. ۱۳۹۷. بررسی پتانسیل خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس با استفاده از RS، GIS، روش Fuzzy-AHP، اکوهیدرولوژی، ۵ (۲): ۷۱۳-۷۲۵.
- 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., Upadhaya, 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. Örüçü, 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*. ACM Press, 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 morphological 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 Tárrega, 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., Chuvina, J., Leño, 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 Environment*, 634: 1326-1334.