پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه زالزالک (*Crataegus pontica* C.Koch) با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ترکیبی در استان لرستان

قهرمان رفیعی[۱]، رضا جعفری[۱*]، سید حمید متین‌خواه[۱]، مصطفی ترکش اصفهانی[۱]، حمیدرضا کریم‌زاده[۱] و زهرا جعفری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۱۵)

چکیده

تخریب رویشگاه از مهم‌ترین دلایل انقراض گونه‌های گیاهی است. به‌منظور شناسایی رویشگاه‌های بالقوه یک گونه می‌توان از تکنیک‌های مدل‌سازی استفاده نمود. بنابراین هدف مطالعه حاضر شناسایی مناطق مطلوب گونه زالزالک در استان لرستان به کمک مدل‌سازی است. بدین‌منظور داده‌های حضور گونه و ۲۳ متغیر محیطی در سطح استان لرستان جمع‌آوری شد. با استفاده از روابط همبستگی تعداد متغیرهای محیطی به ۹ متغیر مؤثر کاهش یافت و از ۵ روش حداکثر آنتروپی، خطی تعمیم‌یافته، مدل افزایشی تعمیم‌یافته، قطعات رگرسیون تطبیقی چندمتغیره و رگرسیون تقویت‌شده برای مدل‌سازی رویشگاه زالزالک بهره گرفته شد و نتایج مدل‌ها با ضرایب ROC، Kappa و TSS ارزیابی گردید. مطابق نتایج، ضرایب ROC و Kappa برای تمام مدل‌ها عملکرد عالی، ضریب TSS برای مدل‌های GBM و MAXENT عملکرد عالی، مدل‌های MARS و GAM عملکرد خوب و مدل GLM عملکرد متوسط را نشان دادند. بر اساس مدل ترکیبی، ۴۰ درصد از اراضی استان به‌عنوان رویشگاه مطلوب و ۶۰ درصد به‌عنوان رویشگاه نامطلوب برای گونه زالزالک شناسایی شد. از میان متغیرهای مختلف محیطی، تأثیرگذارترین آنها بر گونه مذکور به‌ترتیب بارش در سه‌ماهه سرد سال، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا بود و احتمال حضور گونه در شرایط بارندگی سه ماه سرد سال، دامنه بارش ۲۲۰-۱۶۰ میلی‌متر و بازه ارتفاعی ۱۸۵۰-۱۳۰۰ متر به اوج خود رسید. با توجه به میزان صحت بالای نقشه رویشگاه مطلوب زالزالک می‌توان از آن به‌عنوان ابزار مناسبی در راستای احیای مناطق تخریب‌یافته و حفاظت از زیستگاه‌های موجود استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی رویشگاه، عوامل محیطی، NDVI، مدل ترکیبی، *Crataegus pontica*

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: reza.jafari@cc.iut.ac.ir

مقدمه

جنگل‌های زاگرس از جمله مناطق مهم دارای ارزش بوم-شناختی، فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی در ایران است که وسعتی بیش از یک‌پنجم سطح کشور را در برگرفته و حدود یک‌سوم جمعیت کشور در آن زندگی می‌کنند (۲۱). این اکوسیستم طبیعی به شدت در معرض خطر از بین رفتن است. بر اساس آخرین آمار رسمی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در دهه اخیر حدود ۳۰ درصد از جنگل‌های کشور دچار تخریب شده‌اند که در این بین استان‌های ایلام، کرمانشاه و لرستان که در جنگل‌های زاگرس واقع شده‌اند به-ترتیب بیشترین مساحت جنگل‌های از بین رفته را به خود اختصاص داده‌اند (۲۸). از یک طرف تغییر کاربری اراضی، قطع درختان، چرای دام، آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی، تهاجم آفات و بیماری‌ها، و از طرف دیگر اثر عوامل اقلیمی مانند تغییرات اقلیمی و خشکسالی، از عوامل اصلی تخریب اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس به‌شمار می‌آیند (۲۸). در چنین وضعیتی، کاهش تراکم و حجم تاج پوشش، پایین آمدن سطح تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری، وقوع سیلاب‌ها، افزایش دمای هوا، وقوع پدیده ریزگردها، و کاهش میزان ذخیره نزولات جوی که منجر به افت ذخیره آب‌های زیرزمینی شده، جنگل‌های این مناطق را با وضعیت دشواری مواجه ساخته و حساسیت آنها را در مواجهه با استرس‌های محیطی چند برابر نموده است (۲۴).

زالزلک یکی از گونه‌های مهم جنگل‌های استان لرستان است که در استان‌های مازندران، ایلام و کرمان نیز پراکنش دارد. این گونه علاوه بر ایران در ارمنستان، قفقاز، ترکمنستان، پامیر و آلای پراکنده شده است. این درخت پس از استقرار در خاک نسبت به خشکی کاملاً مقاوم است و در خاک‌های شنی، رسی و آهکی قادر به رشد است، به‌ندرت دستخوش صدمه ناشی از آفات و بیماری‌ها می‌شود و اگر در مراحل اولیه رشد با علف-های هرز مبارزه شود، نیاز به مراقبت ویژه‌ای ندارد. همچنین با توجه به مقاوم‌بودن در برابر آلودگی هوا، این گونه در فضای سبز شهری نیز کاربرد دارد (۲۵). گونه زالزالک در ایران به علت دارابودن محصولات فرعی فراوان می‌تواند نقش بسزایی در زندگی روستایی داشته باشد که در نتیجه بهره‌برداری‌های بی‌رویه در معرض خطر تخریب و نابودی کامل قرار گرفته است (۳۱).

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، به‌عنوان پیش‌بینی جغرافیای مکانی پراکنش گونه مورد نظر در سراسر چشم انداز بر اساس ارتباط بین رخداد گونه گیاهی و متغیرهای محیطی مؤثر تعریف شده است (۲۶). با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای می‌توان نحوه پاسخ گونه‌ها به عوامل محیطی و در نهایت رویشگاه بالقوه گونه را شناسایی نمود (۱۴). مدل‌های پراکنش گونه‌ای به دو دسته متمایزکننده گروه‌ها (Discrimination) و مدل‌های پروفیل (Profile) تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل‌های متمایزکننده گروه‌ها نیازمند داده‌های حضور و عدم حضور بوده و بر مبنای همبستگی و ارتباط بین متغیرها هستند که این ارتباط را به صورت توابع ریاضی نشان می‌دهند. این مدل‌ها به دو گروه مدل‌های جهانی (Global models) و مدل‌های محلی (Local models) طبقه‌بندی می‌شوند. از جمله مدل‌های جهانی می‌توان به مدل‌های GLM و MLR و از مدل‌های محلی می-توان به مدل‌های GAM و CART اشاره نمود. در مقابل، مدل-های پروفیل تنها بر اساس داده‌های حضور گونه عمل می‌کنند. از جمله مدل‌های این گروه می‌توان به مدل‌های BIOCLIM، DOMAIN، MAXENT، GARP و ENFA اشاره کرد (۴۲). شرایط رویشگاهی گونه زالزالک زرد (*Crataegus azarolus* L.) با سایر گونه‌های جنس زالزالک کاملاً متفاوت است. گونه زالزالک زرد بیشتر در شیب‌های شرقی و غربی و در مناطقی که حاصلخیزی خاک کمتر و همچنین pH خاک قلیایی‌تر باشد مشاهده می‌شود (۴۳). سایر گونه‌های جنس زالزالک بیشتر در جهت‌های شمالی و در مناطقی که حاصلخیزی خاک بیشتر، شرایط رویشگاهی مطلوب‌تر و pH خاک پایین‌تر باشد مشاهده شده‌اند (۴۳). والکر و همکاران (۴۵) طی یک بررسی نشان دادند که بنه

(*Pistacia atlantica* subsp. kurdica) از گونه‌هایی است که در برابر شرایط نامساعد محیطی بسیار مقاوم است و در اقلیم‌های مختلف و خاک‌های مختلف با اسیدیته ۷ تا ۸ پراکنش دارد. محمدی و همکاران (۳۰) با استفاده از دو مدل GLM و GAM پراکنش گونه ملج (*Ulmus glabra* Huds.) را با استفاده از متغیرهای محیطی اقلیمی و پستی و بلندی مدل‌سازی کردند. مدل GAM عملکرد بهتری داشته و متغیرهای محیطی ارتفاع از سطح دریا و عمق دره مهم‌ترین متغیرها در تعیین رویشگاه گونه ملج بوده است. فلسنر و همکاران (۹) با استفاده از مدل‌های GLM و BRT پراکنش گونه *Fagus grandifolia* را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل GLM کارایی بیشتری نسبت به مدل دیگر دارد. همچنین در این پژوهش مهم‌ترین متغیرهای تأثیر گذار بر این گونه، انحنای زمین و ارتفاع از سطح دریا بودند. زارع‌چاهوکی و همکاران (۴۶) با استفاده از مدل ماکزیمم آنتروپی به پهنه‌بندی رویشگاه بالقوه گونه‌های گیاهی مراتع حوض سلطان قم پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که متغیرهای هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، آهک و بافت خاک از مهم‌ترین ویژگی‌های تفکیک‌کننده رویشگاه‌های گیاهان منطقه بوده است. حیدریان آقاخانی و همکاران (۱۵) به پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش بالقوه گونه بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach.) در زاگرس مرکزی با استفاده از مدل‌سازی اجماعی پرداختند و از ۵ روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته، آنالیز طبقه‌بندی درختی، شبکه عصبی مصنوعی، روش بوستینگ تعمیم‌یافته و جنگل تصادفی استفاده کردند.

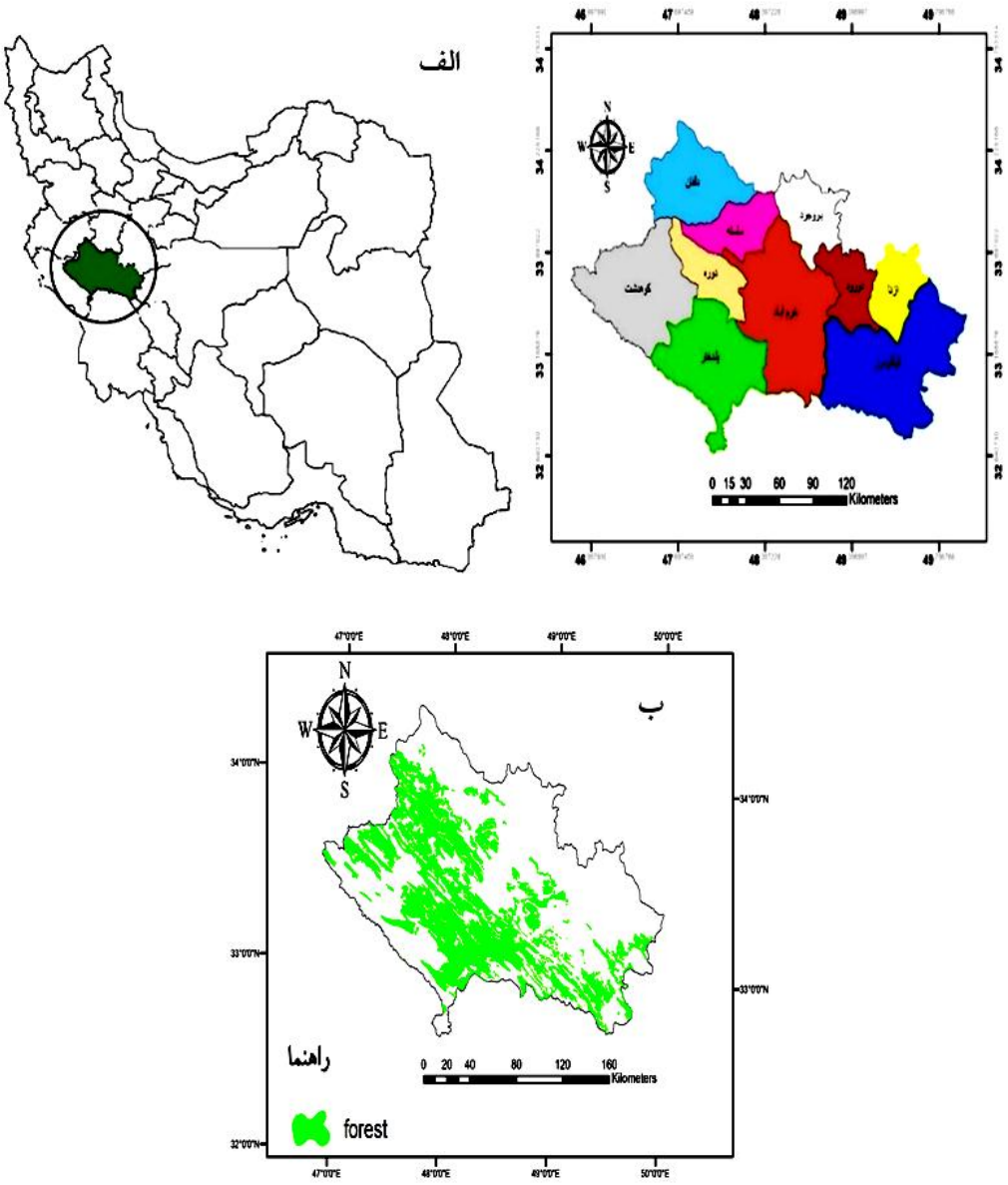
پیدالو و همکاران (۳۳) متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش ۱۲ گونه درختی، ۲۸ گونه پهن‌برگ و ۴ گونه سوزنی‌برگ در فرانسه را با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ۳۶ شاخص مختلف توصیف‌کننده انرژی، ذخیره آب، مواد غذایی و شرایط غرقابی اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل نشان داد که میانگین سالانه دما، محدودیت آبی، درجه واکنش خاک، نسبت کربن به نیتروژن و شرایط غرقابی بیشترین اثر را داشته است. بمبی (۵) در پژوهشی با رویکرد مشابه به بررسی کارایی شش مدل BIOCLIM، DOMAIN، GAM، ENFA، MAXENT و GLM پرداخت. نتایج این بررسی نشان داد که دو مدل MAXENT و GAM دارای بهترین کارایی بوده و مدل‌های GLM و DOMAIN کارایی خوب و دو مدل ENFA و BIOCLIM کمترین کارایی نسبی را داشتند.

گونه زالزالک در رشته کوه‌های زاگرس به‌علت ارزش‌های زیست‌محیطی، حفاظت خاک، تولید محصولات فرعی و ... از اهمیت خاصی برخوردار است. این گونه طی سال‌های اخیر به‌دلیل مسائل اقتصادی، اجتماعی و عدم مدیریت جامع و کارآمد تا حد زیادی تخریب شده و به سمتی پیش می‌رود که امکان از دست رفتن توان بالقوه و ارائه خدمات آن وجود دارد. از این‌رو با توجه به اینکه استان لرستان یکی از اصلی‌ترین رویشگاه‌های این گونه در زاگرس است، مطالعه حاضر به دنبال استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی پراکنش بالقوه گونه‌ای به‌صورت ترکیبی برای شناسایی مناطق مناسب این گونه در سطح استان لرستان بوده است. انتظار می‌رود یافته‌های این تحقیق بتواند در درک عوامل محیطی مؤثر بر گونه زالزالک و همچنین شناسایی مناطق دارای مطلوبیت بیشتر جهت احیاء و جلوگیری از تخریب احتمالی و نابودی آن کمک کند.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحت ۲۸۲۹۵ کیلومترمربع (۱/۷ درصد از کل مساحت کشور)، در محدوده کوه‌های زاگرس در غرب ایران قرار دارد. این استان بین ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). این استان حدود دو میلیون و ۱۰۰ هزار هکتار عرصه جنگلی و مرتعی دارد که از این مقدار حدود یک میلیون و ۲۳۰ هزار هکتار آن جنگل است که ۴۴ درصد از مساحت استان را در بر می‌گیرد. این استان سرزمینی کوهستانی است که حدود ۸۵ درصد



شکل ۱. الف) نقشه محدوده مورد مطالعه و موقعیت آن در کشور ایران و ب) نقشه کاربری جنگل در استان لرستان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

مساحت آن را رشته‌کوه‌های به‌نسبت پراکنده فرا گرفته‌اند. سه ناحیه مشخص آب و هوایی شامل ناحیه سرد کوهستانی، ناحیه معتدل مرکزی و ناحیه گرم جنوب در این استان قابل مشاهده است. بیشینه و کمینه دمای ثبت‌شده در این استان به‌ترتیب ۴۷ و ۳۶- درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۵۵۰ میلی‌متر است (۲).

روش تحقیق

حضور هر گونه گیاهی تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف و روابط بین گونه‌ای است. بر اساس ویژگی‌های گونه و منطقه مورد مطالعه ۲۳ متغیر محیطی انتخاب شد. عوامل محیطی دیگری مانند خصوصیات خاک نیز می‌توانست مورد استفاده قرار گیرد اما چون سطح مطالعه وسیع بوده و داده‌های خاک موجود نبود، بنابراین در مطالعه حاضر، سه متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع)، ۱۹ متغیر اقلیمی و شاخص پوشش گیاهی برای تعیین مهم‌ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر مطلوبیت این گونه با کمک مدل‌های ماکزیمم آنتروپی، قطعات

رگرسیون تطبیقی چندمتغیره، رگرسیون تقویت‌شده، خطی تعمیم‌یافته، افزایشی تعمیم‌یافته و مدل ترکیبی مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعه حاضر از ۱۱۷۶ نقطه حضور گونه زالزالک (ملاک حضور، رویش گونه بوده است) مربوط به طرح نقشه-برداری مناطق جنگلی در سطح استان لرستان در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ مورد استفاده قرار گرفت (۲۲). سپس در سال ۱۳۹۸ با بازدیدهای صحرایی و با استفاده از داده‌های نقشه سه‌بعدی زمین (Google Earth) این نقاط به‌روزرسانی شدند. همچنین بر اساس وسعت منطقه و تعداد نقاط حضور، ۱۱۷۶ نقطه پس‌زمینه به عنوان نقاط عدم حضور گونه زالزالک در استان لرستان در نظر گرفته شد. متغیرهای مختلف اقلیمی بین سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۰ میلادی از وبگاه www.worldclim.org اخذ شد (۱۷). شاخص پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index = NDVI) از وبگاه www.earthexplorer.usgs.gov در دوره‌های زمانی ۳۰روزه و با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومترمربع مستخرج از سنجنده ماهواره‌ای مودیس در سال‌های داده‌برداری دانلود شد. انتخاب این شاخص بدین‌صورت بود که ابتدا فصل رویش زالزالک شامل ماههای فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان (۱۳) مشخص شد و بر اساس آن، تصاویر تهیه شده و در نرم‌افزار ENVI (Environment for Visualizing Images) توسط MODIS Toolkit مورد پردازش قرار گرفت. در پایان از تصاویر ماهانه مذکور در فصل رشد میانگین‌گیری و یک تصویر شاخص پوشش گیاهی برای مدل‌سازی انتخاب شد. همچنین نقشه DEM (Digital Elevation Model) از سایت www.earthexplorer.usgs.gov اخذ و نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع به کمک آن تهیه شد. مرز و مختصات جغرافیایی کلیه متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به اندازه پیکسل یک کیلومتر مربع تبدیل و نرمال شد.

بعد از مرور منابع و شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر گونه زالزالک، برای جلوگیری از مشکلاتی مانند برازش بیش از حد مدل، هم‌خطی و تعیین متغیرهای محیطی مهم مؤثر بر رویشگاه گونه در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 ضریب همبستگی لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای محیطی با استفاده از آزمون آماری پیرسون استخراج و متغیرهایی با همبستگی بیش از ۰/۷۵ حذف شد (۷). در نهایت ۹ متغیر محیطی مؤثر بر گونه زالزالک شامل بارش در سه‌ماهه سردتر سال (Bio19)، میانگین دمای سه ماه مرطوب‌تر سال (Bio8)، هم‌دمایی (Bio3)، دمای فصلی (Bio4)، دامنه دمای سالانه (Bio7)، بارش سالانه (Bio12)، شیب (Slope)، ارتفاع (Elevation) و NDVI به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت بالقوه رویشگاه گونه انتخاب شد (جدول ۱). داده‌های حضور و عدم حضور گونه به‌عنوان متغیر وابسته و ۹ عامل محیطی به‌عنوان متغیر مستقل برای مدل‌سازی در نظر گرفته شد.

امروزه مدل‌سازی گونه با استفاده از نرم‌افزارهای مختلفی انجام می‌شود که در این بین R یکی از پرطرفدارترین نرم‌افزارها است (۶، ۱۶، ۳۲ و ۴۴). در این مطالعه از میان مدل‌های پرکاربرد در تعیین پراکنش گونه‌ای؛ مدل حداکثر آنتروپی، افزایشی تعمیم‌یافته، قطعات رگرسیون تطبیقی چندمتغیره، مدل رگرسیون تقویت‌شده و مدل خطی تعمیم‌یافته انتخاب شدند (جدول ۲). نقاط حضور و عدم حضور به‌همراه ۹ عامل محیطی ذکر شده وارد نرم‌افزار R شدند و با استفاده از بسته BIOMOD2 بر اساس ۵ الگوریتم، مدل‌سازی پراکنش گونه زالزالک با ۱۰ تکرار انجام شد. همچنین ساخت و آموزش مدل به کمک ۷۵ درصد از داده‌های حضور به‌عنوان داده‌های تعلیمی و ارزیابی آن با ۲۵ درصد باقی‌مانده داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند، صورت گرفت. نقشه نهایی شایستگی رویشگاه گونه به تفکیک مدل‌ها به چهار طبقه مطلوبیت با دامنه ارزشی کمتر از ۲۵۰ تا بیش از ۷۵۰، شامل طبقه فاقد مطلوبیت (۲۵۰>)، مطلوبیت کم (۵۰۰-۲۵۰)، مطلوبیت متوسط (۷۵۰-۵۰۰) و مطلوبیت زیاد (۷۵۰<) برای هر مدل تقسیم‌بندی شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها معیارهای ارزیابی مستقل از آستانه و وابسته به آستانه که از

جدول ۱. عوامل تأثیرگذار بر پراکنش بالقوه گونه زالزالک در منطقه مطالعاتی

نام	واحد
بارش در سه‌ماه سردتر سال (Bio19)	میلی‌متر
دامنه دمای سالانه (Bio7)	درجه سانتی‌گراد
دمای فصلی (Bio4)	درجه سانتی‌گراد
شیب (Slope)	درصد
میانگین دمای سه‌ماه مرطوب‌تر سال (Bio8)	درجه سانتی‌گراد
بارش سالانه (Bio12)	میلی‌متر
هم‌دمایی (Bio3)	درجه سانتی‌گراد
ارتفاع (Elavation)	متر
NDVI	بدون واحد

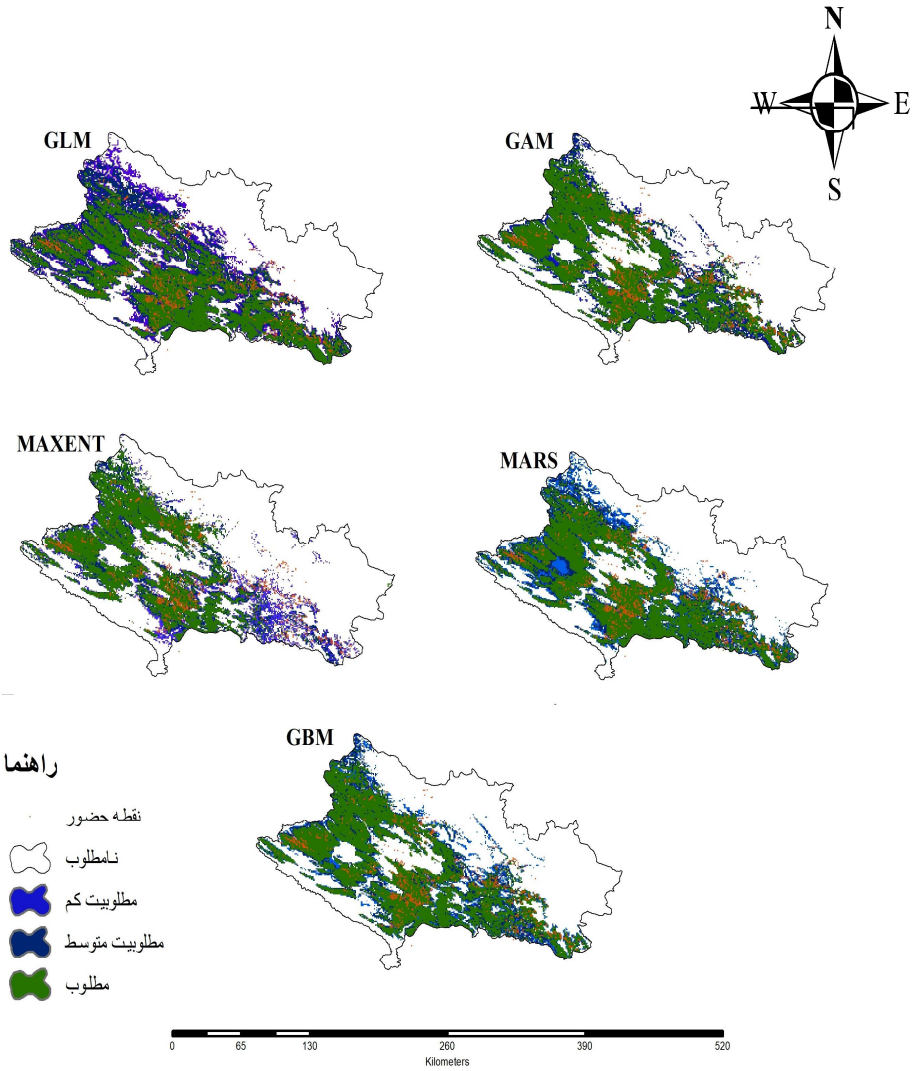
جدول ۲. مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه

نام فارسی مدل	نام انگلیسی مدل	منبع
حداکثر آنتروپی	Maximum Entropy (MAXENT)	(۳۴)
افزایشی تعمیم‌یافته	Generalized Additive Model (GAM)	(۱۳)
قطعات رگرسیون تطبیقی چندمتغیره	Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)	(۱۰)
رگرسیون تقویت‌شده	Generalized Boosting Model (GBM)	(۳۸)
خطی تعمیم‌یافته	Generalized Linear Model (GLM)	(۲۹)

ماتریس خطا استخراج می‌شوند به‌کار برده شد. سطح زیر منحنی (AUC = Area Under the Cure) و عامل ویژه دریافت‌کننده (ROC = Receiver Operating Characteristic)، که صحت نقاط حضور پیش‌بینی شده را در مقابل صحت نقاط عدم حضور پیش‌بینی شده قرار می‌دهد، یک شاخص کمی مستقل از آستانه برای نمایش کارایی و قدرت مدل است (۴۰). اگر این سطح برابر ۰/۵ باشد بیانگر یک مدل ضعیف است که نقاط حضور با پیش‌بینی آن بر اساس نقاط تصادفی تفاوتی ندارد. اگر AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ باشد بیانگر مدل متوسط، بین ۰/۷ تا ۰/۹ بیانگر مدل خوب و بیش از ۰/۹ نشان‌دهنده پیش‌بینی عالی مدل است (۴۰). ارزش آماری (TSS = True Scale Statistic) نیز هم خطاهای امیسیون و هم خطاهای کمیسیون را در نظر می‌گیرد و دامنه آن از ۱- تا ۱+ است که هرچه به سمت ۱+ باشد کارایی بهتر مدل را نسبت به شانس یا تصادف بیان می‌کند. مقادیر صفر و منفی بیانگر عملکرد ضعیف مدل هستند و کارایی آن نشان می‌دهد که از حالت تصادفی بهتر نیستند (۳). ضریب کاپا (Kappa) یکی دیگر از شاخص‌های محبوب است که برای تعیین دقت آزمون به‌کار می‌رود. گستره آماره Kappa از صفر تا ۱+ است. هرچه مقدار کاپا به سمت ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده کارایی و توافق بهتر مدل با دنیای واقعی است (۲۶). پس از اجرای مدل-ها به‌منظور ارائه یک نقشه نهایی از حضور گونه، از تکنیک مدل ترکیبی استفاده شد. همچنین درصد اهمیت متغیرها و مهم‌ترین منحنی‌های پاسخ نیز بر اساس مدل ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

شکل ۲ نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه زالزالک بر اساس



شکل ۲. نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه زالزالک و حضور بالفعل گونه (نقاط قرمز) در استان لرستان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

مدل‌های مطالعاتی و همچنین نقاط حضور گونه نشان می دهد. طبق این شکل اگرچه همه مدل‌ها تا حدود زیادی نتایج نسبتاً مشابهی نشان دادند، خروجی این مدل‌ها با هم متفاوت است. طبقات پیش‌بینی برای هر مدل برحسب درصد در جدول ۳ ارائه شده است. به‌طور مثال، میزان مطلوبیت رویشگاه مطابق این جدول برای مدل رگرسیون تقویت‌شده ۳۳ درصد، مدل حداکثر آنتروپی ۳۲ درصد، قطعات رگرسیون تطبیقی چندمتغیره ۳۴ درصد، مدل افزایشی تعمیم‌یافته ۳۲ درصد و مدل خطی تعمیم‌یافته ۳۰ درصد است.

با توجه به اینکه ضرایب ROC، Kappa و TSS ذکر شده در جدول ۴، در تمام مدل‌ها از عملکرد عالی برخوردار بودند، در نتیجه از تمام مدل‌ها به‌منظور ایجاد مدل ترکیبی استفاده شد (شکل ۳). بر اساس مدل ترکیبی، سهم مساحت طبقات مطلوبیت رویشگاه گونه زالزالک در استان لرستان برابر با ۴۹ درصد نامطلوب (۱۳۵۰۰ کیلومتر مربع)، ۱۱درصد با مطلوبیت کم (۳۲۰۰ کیلومتر مربع)، ۱۳ درصد با مطلوبیت متوسط (۴۳۰۰ کیلومتر مربع) و ۲۷ درصد مطلوب (۷۰۰۰ کیلومتر مربع) به‌دست آمد.

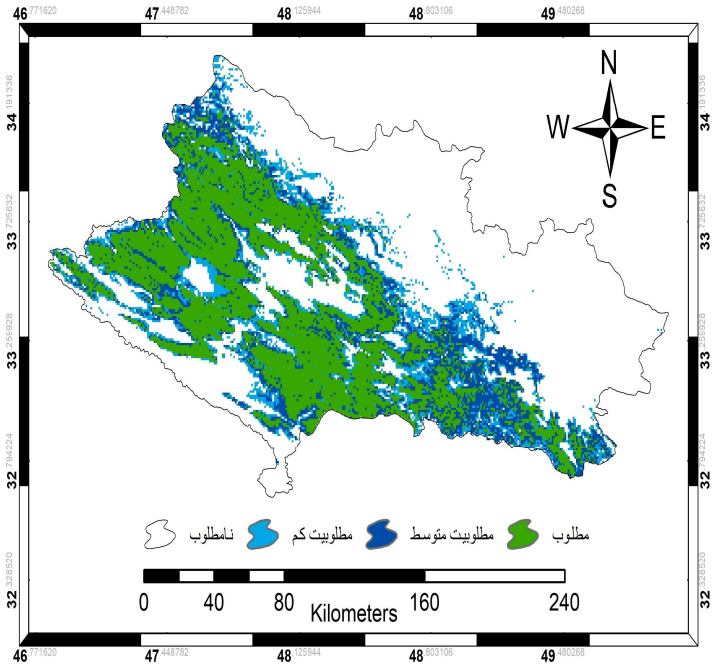
میانگین مهم‌ترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار در پنج مدل در شکل ۴ نمایش داده شده که بر اساس آن، متغیرهای محیطی

جدول ۳. درصد مطلوبیت برآورد شده رویشگاه گونه زالزالک با استفاده از مدل‌های مختلف

طبقات پیش‌بینی	GBM	MAXENT	MARS	GAM	GLM
مطلوب	۳۳	۳۲	۳۴	۳۲	۳۰
مطلوبیت متوسط	۱۰	۶	۹	۱۱	۱۳
مطلوبیت کم	۵	۷	۷	۸	۱۱
نامطلوب	۵۲	۵۵	۵۰	۴۹	۴۶

جدول ۴. مقایسه عملکرد مدل‌ها با استفاده از ضرایب مختلف ارزیابی

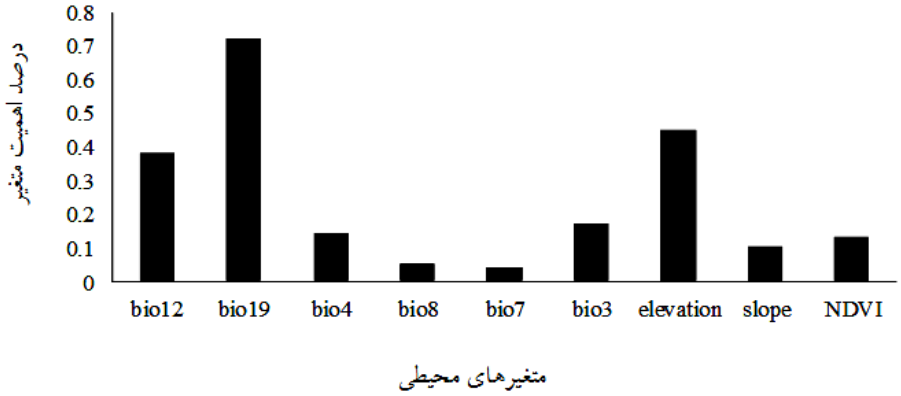
روش ارزیابی	GBM	MAXENT	MARS	GAM	GLM	Ensemble
ROC, Swets (1998)	عالی (۹۴)	عالی (۹۳)	عالی (۹۲)	عالی (۹۳)	عالی (۹۱)	عالی (۹۵)
TSS, Allouche (2006)	عالی (۸۴)	عالی (۸۳)	خوب (۷۹)	خوب (۷۸)	متوسط (۶۹)	عالی (۸۵)
Kappa, Landis and Koch (1997)	عالی (۷۷)	عالی (۷۶)	عالی (۷۶)	عالی (۷۷)	عالی (۷۵)	عالی (۷۷)



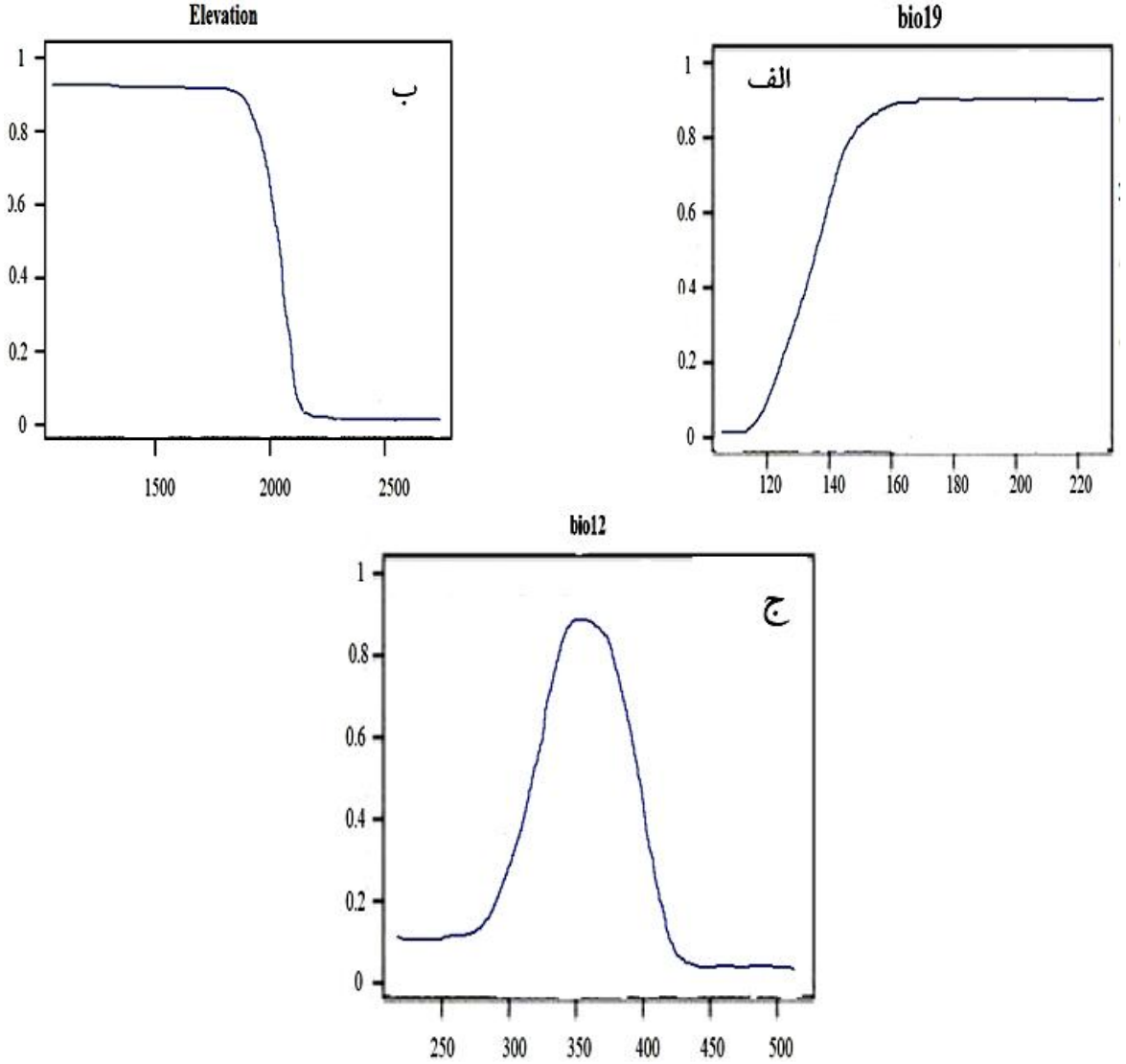
شکل ۳. نقشه ترکیبی مطلوبیت زیستگاه گونه زالزالک در استان لرستان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

بارش در سه‌ماهه سردتر سال (Bio19)، بارش سالانه (Bio12) و ارتفاع از سطح دریا (Elevation) مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر گونه زالزالک در استان لرستان هستند. از طرف دیگر متغیرهای دامنه دمای سالانه (Bio7)، هم‌دمایی (Bio8) و شیب کمترین اثر را بر پراکنش گونه زالزلک در منطقه مطالعاتی دارند.

منحنی‌های پاسخ گونه نسبت به متغیرهای محیطی مؤثر بر اساس مدل ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). در مطالعه حاضر متغیر Bio19 (بارش در سه‌ماه سردتر سال) بیشترین تأثیر را بر حضور گونه داشت و طبق منحنی پاسخ (شکل ۵-الف) با افزایش بارندگی در سه ماه سردتر سال



شکل ۴. میانگین متغیرهای محیطی مؤثر بر مطلوبیت رویشگاه گونه زالزالک



شکل ۵. منحنی‌های پاسخ گونه نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی (محورهای عمودی ضریب پاسخ گونه و محورهای افقی به ترتیب از الف به ج شامل بارندگی در سه ماه سرد سال (میلی‌متر)، ارتفاع (متر) و بارندگی سالانه (میلی‌متر) است.)

احتمال حضور گونه افزایش می یابد و زمانی‌که مقدار بارندگی حدود ۲۲۰-۱۶۰ میلی‌متر باشد، احتمال حضور گونه به اوج خود می‌رسد. همچنین گونه مذکور در ارتفاع بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ متری حضور حداکثری دارد. لازم به ذکر است در ارتفاع کمتر و بیشتر از این مقدار، احتمال حضور گونه تقریباً به صفر می‌رسد (شکل ۵-ب). منحنی پاسخ گونه نسبت به Bio12 (متغیر سالانه بارش) در شکل ۵-ج نشان داده شده است. منحنی حالت زنگوله‌ای دارد و بیشترین احتمال حضور گونه در بازه بارندگی ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر، حالت بهینه (Optimum) را برای حضور گونه ارائه می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه زالزالک حاصل از مدل‌های مختلف نشان داد که خروجی تمام مدل‌ها شباهت زیادی دارند ولی هیچ دو مدلی به‌طور کاملاً مشابه عمل نکردند. این موضوع حتی برای مدل‌های با کارایی عالی نیز صدق می‌کند، اما از آنجا که هر مدل ممکن است دارای خطاهایی باشد یا به واقعیت نزدیک نباشد، مدل‌های استفاده‌شده در این پژوهش نیز از این قاعده مستثنی نبودند. بررسی کارایی مدل‌های مختلف در مطالعه پراکنش گونه زالزالک نشان داد که همه مدل‌ها بر اساس ارزیابی AUC دارای عملکرد عالی هستند. طبق این معیار، مدل GBM پس از مدل ترکیبی بیشترین کارایی و مدل GLM کمترین کارایی را داشته است. بر اساس ارزیابی TSS، مدل‌های GBM و MAXENT از عملکرد عالی، MARS و GAM از عملکرد خوب و GLM از عملکرد متوسط برخوردار بودند. همچنین بر اساس شاخص کاپا همه مدل‌ها عملکرد عالی نشان دادند.

مدل‌سازی در مورد گونه‌هایی مانند زالزالک که آشیان محدود دارند با صحت بیشتری نسبت به گونه‌های با آشیان اکولوژیک گسترده صورت می‌گیرد (۱۲). مدل‌های مختلف به‌دلیل برخورداری از روش‌های متفاوت نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهند (۸). بنابراین انتخاب مدل مناسب‌تر بر اساس AUC، TSS و Kappa نیز چندان نمی‌تواند اطمینان‌بخش باشد و بهترین کار استفاده از مدل ترکیبی است (۴). بدین‌ترتیب ترکیب نتایج مدل‌های مختلف در مدل ترکیبی نهایی میزان عدم قطعیت ناشی از تفاوت عملکرد مدل‌ها را نیز در روند مدل‌سازی لحاظ می‌کند (۱۱). استولگران و همکاران (۳۹) و رپاچیلو و همکاران (۳۷) در یافته‌های خود عملکرد مطلوب مدل ترکیبی را به‌منظور پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای تأیید کردند.

پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی و استقرار آنها در مرتع و جنگل، بر اساس دامنه بردباری‌شان به متغیرهای مختلف محیطی و خصوصیات بوم‌شناختی صورت می‌گیرد. بنابراین شناخت عوامل تأثیرگذار بر پراکنش جغرافیایی می‌تواند در شناخت رویشگاه‌های بالقوه گونه‌هایی که ارزش حفاظت آب و خاک دارند، کارآمد باشد. عوامل محیطی انتخاب‌شده در این تحقیق جزء متداول‌ترین و کاربردی‌ترین متغیرها در تعیین پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی در مناطق وسیع می‌باشد. در مطالعه حاضر جهت تعیین رویشگاه گونه مطالعاتی از متغیرهای اقلیمی، فیزیوگرافی و شاخص پوشش گیاهی استفاده شد. در میان مهم‌ترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه زالزالک در استان لرستان بر اساس رویکرد مدل‌سازی، بارش در سه‌ماهه سرد سال بیشترین میزان اهمیت را در برازش مدل‌ها داشت و تقریباً حدود ۶۰ درصد از تغییرات را توجیه کرد. ارتفاع از سطح دریا در درجه دوم اهمیت و پس از آن بارش سالانه قرار داشت.

دامنه دمایی سالانه کم‌اهمیت‌ترین متغیر در برازش مدل‌ها بود. حساسیت گونه نسبت به بارش در سه‌ماهه سرد سال بسیار زیاد بود، بدین‌معنی که با افزایش یا کاهش بارندگی از محدوده ۲۲۰-۱۶۰ میلی‌متر در سه‌ماهه سرد سال، احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. رفیعی و همکاران (۳۶) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که بارش در سه‌ماهه سرد سال یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر روی پراکنش گونه زالزالک در شهرستان الیگودرز است و در محدوده بارش ۲۲۰-۲۰۰ میلی‌متر در سه‌ماهه سرد سال، حضور گونه به اوج خود می‌رسد. ارتفاع از

سطح دریا معمولاً به‌عنوان یک متغیر مهم اثر بوم‌شناختی محسوسی در فرایندهای مدل‌سازی دارد. منحنی عکس‌العمل گونه زالزالک نسبت به متغیر ارتفاع به صورت افزایشی بود. حداقل ارتفاع رویشگاه این گونه ۱۰۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن حدود ۲۰۰۰ متر است. بیشترین تراکم گونه در محدوده ارتفاعی ۱۸۵۰-۱۳۰۰ متری است. پستی و بلندی می‌تواند تأثیر بسیاری از عوامل محیطی را تغییر داده و در شکل‌گیری رویشگاه گونه زالزالک و همچنین پراکنش گونه‌های گیاهی دیگر نقش مهمی ایفا کند. جعفری و همکاران (۱۹) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیر تأثیر گذار بر پراکنش گونه زالزالک در استان چهارمحال و بختیاری بوده و اگر ارتفاع بین ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ متر باشد حضور گونه زالزالک به اوج خود می‌رسد.

منحنی پاسخ گونه زالزالک نسبت به بارش سالانه در منطقه مطالعاتی چولگی دارد. در بارندگی سالانه حدود ۳۸۰-۳۴۰ میلی‌متر، بیشترین احتمال حضور گونه زالزالک رخ می‌دهد و پس از آن احتمال رخداد به سرعت کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در بارش بیش از ۴۰۰ میلی‌متر این احتمال به صفر می‌رسد. علت کاهش حضور گونه در بارش‌های بیشتر را می‌توان به کاهش توان رقابتی گونه زالزالک نسبت به سایر گونه‌های گیاهی تعمیم داد که در این زمینه به تحقیقات بیشتری نیاز است. فیپس و همکاران (۳۵) به این نتیجه رسیدند که هر چه میزان بارش سالانه از ۱۵۰ میلی‌متر بیشتر شود حضور گونه زالزالک افزایش می‌یابد و در حدود ۳۰۰ میلی‌متر حضور گونه به اوج خود می‌رسد.

در این مطالعه از بین متغیرهای محیطی، بارش در سه‌ماهه سردتر سال، ارتفاع از سطح دریا و بارندگی سالانه بیشترین تأثیر را در پراکنش و تناسب رویشگاه گونه زالزالک داشتند. از بین مدل‌های برازش داده‌شده در این پژوهش، مدل ترکیبی از کارایی بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بود. مدل ترکیبی می‌تواند نتایج صحیح‌تر و معتبرتری تولید کند و حتی پایه‌ای قوی برای تصمیمات صحیح مدیریتی باشد. حداکثر احتمال حضور گونه زالزالک در مناطقی با بارش ۲۲۰-۱۶۰ میلی‌متر در سه‌ماهه سرد سال ، ارتفاع ۱۸۵۰-۱۳۰۰ متر از سطح دریا و بارش سالانه ۳۸۰-۳۴۰ میلی‌متر است. به‌طور کلی می‌توان گفت نتایج این پژوهش نشان‌دهنده توانایی بالای این روش‌ها در مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش و تهیه نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه زالزالک در استان لرستان است. به‌دلیل دقت خیلی خوب مدل‌های مورد استفاده به‌ویژه مدل ترکیبی در پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب، می‌توان با بهره‌گیری از آنها علاوه بر آگاهی از حدود پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی، از این اطلاعات برای جلوگیری از تخریب و کاشت این گونه در منطقه مورد مطالعه یا مناطقی با شرایط اقلیمی و فیزیوگرافی مشابه استفاده کرد. در نهایت باید اذعان داشت که نتایج مطالعه حاضر، در مشخص کردن مباحث حفاظتی در ارتباط با گونه زالزالک که گونه‌ای خاص و وابسته به زیستگاه‌های خاص است، اهمیت فراوان دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود مدیران اجرایی از نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه زالزالک حاصل از مدل ترکیبی در برنامه‌های مختلف مدیریتی این گونه در سطح استان لرستان استفاده نمایند. همچنین پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه مذکور در گستره زاگرس و اثرات تغییر اقلیم و عوامل انسانی بر این گونه بپردازند.

پیوست

ضمیمه ۱. خلاصه مشخصات متغیرهای اقلیمی در منطقه مطالعاتی

نام متغیر	عبارت اختصاری	فرمول	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار
میانگین دمای سالانه	Bio1	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	۱۷	۱۳۸/۷	۲۴۵	۴۲/۹
میانگین دمای روزانه	Bio2	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	۱۳۹	۱۵۴/۵	۱۶۸	۵/۷
هم‌دمایی	Bio3	درجه سانتی‌گراد	۳۱	۳۸/۱	۴۰	۲/۳
دمای فصلی	Bio4	انحراف معیار×۱۰۰	۷۸۹۶	۸۶۰۴/۵	۱۰۱۶۰	۳۶۲/۱
حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال	Bio5	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	۲۴۷	۳۹۵/۹	۴۶۱	۴۲/۴
حداقل دمای سردترین ماه سال	Bio6	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	−۱۷۸	−۴۲/۸	۶۰	۴۵/۵
دامنه دمای سالانه	Bio7	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	۳۶۸	۴۰۲	۴۵۲	۱۲/۵
میانگین دمای سه‌ماهه مرطوب‌تر سال	Bio8	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	−۵۰	۴۴/۳	۱۴۹	۴۲/۱
میانگین دمای سه‌ماهه خشک‌تر سال	Bio9	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	۹۰	۲۴۷	۳۵۵	۴۴/۱
میانگین دمای سه‌ماهه گرم‌تر سال	Bio10	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	۱۲۹	۲۴۸/۳	۳۵۵	۴۲/۱
میانگین دمای سه‌ماهه سردتر سال	Bio11	درجه سانتی‌گراد ×۱۰	−۹۸	۲۷/۳	۱۳۱	۴۳/۲
بارش سالانه	Bio12	میلی‌متر میانگین ماهانه	۱۴۶	۳۳۸/۱	۵۴۰	۸۴/۲
بارش در مرطوب‌ترین ماه سال	Bio13	میلی‌متر میانگین ماهانه	۲۹	۶۳/۸	۹۶	۱۶
بارش در خشک‌ترین ماه سال	Bio14	میلی‌متر میانگین ماهانه	۰	۰/۱۹	۱	۰/۳۹
بارش فصلی	Bio15	ضریب تغییرات	۷۳	۸۲/۹	۹۹	۴/۸
بارش در سه‌ماهه مرطوب‌تر سال	Bio16	میلی‌متر میانگین ماهانه	۷۱	۱۶۶/۲	۲۷۰	۳۹/۸
بارش در سه‌ماهه خشک‌تر سال	Bio17	میلی‌متر میانگین ماهانه	۰	۱/۴	۷	۱/۴
بارش در سه‌ماهه گرم‌تر سال	Bio18	میلی‌متر میانگین ماهانه	۰	۲/۷	۱۵	۲/۸
بارش در سه‌ماهه سردتر سال	Bio19	میلی‌متر میانگین ماهانه	۱۹	۱۵۷/۳	۲۵۲	۳۷/۳

منابع مورد استفاده

1. Aertsen, W., V. Kint, J. V. Orshoven, K. Özkan and B. Muys. 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. *Journal of Ecological modelling* 221(8): 1119-1130.
2. Aliyari, H. 2008. Natural Geography Textbook of Lorestan Province. School Textbook Press, Tehran. (In Farsi).
3. Allouche, O., A. Tsoar and R. Kadmon. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43(6): 1223-1232.
4. Araujo, B. M. and M. New. 2006. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 42-47.
5. Bombi, P. 2010. Toward a new instrument for identifying the Italian hotspots of biodiversity: A case study of the amphibians and reptiles of Sicily. *Italian Journal of Zoology* 77(4): 453-459.
6. Braun, W. J. and D. J. Murdoch. 2007. A First course in statistical programming with R. Cambridge University Press, Cambridge.
7. Brown, J. L. and A. D. Yoder. 2015. Shifting ranges and conservation challenges for lemurs in the face of climate change. *Journal of Ecology and Evolution* 5(6): 1131-1142.
8. Elith, J. and J. R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space

and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40: 667-697.
9. Flessner, B., M. C. Henry and J. Green. 2017. Species distribution modeling of american beech (*Fagus Grandifolia*) distribution in Southwest Ohio. *Journal of Applied Geospatial Research* 8(3): 16-36.
10. Friedman, J. H. 1991. Multivariate adaptive regression splines. *Annals of Statistics* 19: 1-67.
11. Gogol-Prokurat, M. 2011. Predicting habitat suitability for rare plants at local spatial scales using a species distribution model. *Journal of Ecological Applications* 21(1): 33-47.
12. Guisan, A. and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Journal of Ecological Modelling* 135(2): 147-186.
13. Hastie, T. and R. Tibshirani. 1990. Generalised Additive Models. Chapman and Hall, London.
14. Heidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani and M. Tatian. 2017. Forecasting the impacts of climate change on potential distribution of *Amygdalus scoparia* using consensus modeling in central Zagros. *Journal of Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources* 8(3): 100-110. (In Farsi).
15. Heydarian Aghakhani, M., M. Tarkesh IEfahani, R. Tamartash, Z. Jafarian and H. Sangoni. 2016. Predicting plant species distribution using species distribution models, introducing Maximum Entropy method. *Journal of Forest Resource Planning* 1(1): 1-7. (In Farsi).
16. Hijmans, R. J., S. Philips, J. Leathwick and J. Elith. 2016. Dismo: Species Distribution Modeling, R package version 1.1-4. R Core Team, Vienna.
17. Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. J. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
18. Iturrate- Garcia, M., M. J. O'Brien, O. Khitun, S. Abiven, P. A. Niklaus and G. Schaepman- Strub. 2016. Interactive effects between plant functional types and soil factors on tundra species diversity and community composition. *Journal of Ecology and Evolution* 6(22): 8126-8137.
19. Jafari, A., M. Alipour, M. Abasi and A. Soltani. 2019. Modeling distribution of hawthorn species in Chaharmahal and Bakhtiari province using maximum entropy method. *Journal of Environmental Studies* 45(2): 223-235. (In Farsi).
20. Jafari, M. 2008. Investigation and analysis of climate change factors over the past fifty years in the caspian forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 32: 314-326. (In Farsi).
21. Jazireii, M. H. and M. Ebrahimi. 2003. Zagros forestry. University of Tehran Press, Tehran.
22. Khajeddin, S. J., S. H. Matinkhah, H. Karimzadeh, A. Soffianian and S. Soltani. 2007. Mapping the forest areas of Lorestan province on a scale of 1:25000 using aerial photographs of scale 1:40000. Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Farsi).
23. Khalasi Ahvazi, L., M. Zare Chahouki and A. Hosseini. 2015. Modeling geographic distribution of *Artemisia sieberi* and *Artemisia aucheri* using presence-only modelling methods (MAXENT & ENFA). *Journal of Renewable Natural Resources Research* 1(1): 62-89. (In Farsi).
24. Khalyani, A. H. and A. L. Mayer. 2013. Spatial and temporal deforestation dynamics of Zagros forests (Iran) from 1972 to 2009. *Journal of Landscape and Urban Planning* 117: 1-12.
25. Kokubun, T. J., B. Harborne, J. Eagles and P. G. Waterman. 1995. Dibenzofuran phytoalexins from the sapwood tissue of *Photinia pyracantha* and Crataegus species. *Journal of Phytochemistry* 39(5): 1033-1037.
26. Landis, J. R. and G. G. Koch. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Journal of biometrics* 114:159-174.
27. Leibold, M. A. and M. A. McPeek. 2006. Coexistence of the niche and neutral perspectives in community ecology. *Journal of Ecology* 87(6): 1399-1410.
28. Mahdavi, A., V. Mirzaiezadeh, M. Niknejad and O. Karami. 2015. Assesment and prediction of oak trees decline using logistic regression model (Case study: Bivareh forests, Malekshahi-Ilam). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* 1: 20-32. (In Farsi).
29. McCullagh, P. and J. A. Nelder. 1989. Generalized Linear Models. Chapman and Hall, London.
30. Mohammadi, A., S. J. Alavi and Q. M. Hosseini. 1396. Modeling the utility of habitat of *Ulmus glabra* species in Kheirud Noshahr forest. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research* 24 (3): 67-80.
31. Mozaffarian, V. 2015. Trees and shrubs of Iran. Farhang Moaser Publications, Tehran. (In Farsi).
32. Naimi, B. and M. B. Araujo. 2016. SDM: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Journal of Ecography* 39: 368-375.
33. Piedallu, C., J. C. Gégout, F. Lebourgeois and I. Seynave, 2016. Soil aeration water deficit nitrogen availability acidity and temperature all contribute to shaping tree species distribution in temperate forests. *Journal of Vegetation Science* 27(2): 387-399.
34. Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Journal of Ecological Modelling* 190: 231-259.

35. Phipps J. B., B. O'Kennon and R. Lance 2003. Hawthorns and Medlars. Timber Press, Portland.
36. Rafiee, Gh., R. Jafari, M. Tarkesh, S. H. Matinkhah and H. Karimzadeh. 2019 Determination of potential habitat of *Crataegus pontica* species using Maxent model in Aligodarz city. In: Proceeding of 2nd National Conference on Natural Resources and Sustainable Development in Zagros. Shahrekord, Iran. pp. 711-723. (In Farsi).
37. Rapacciuolo, G., D. B. Roy, S. Gillings, R. Fox, K. Walker and A. Purvis. 2012. Climatic associations of British species distributions show good transferability in time but low predictive accuracy for range change. *PLoSOne* 7(7): 40-21.
38. Ridgeway, G. 2007. Generalized Boosted Models: A guide to the GBM package. Available online at: https://github.com/gbm-developers/gbm. Accessed 1 December 2018.
39. Stohlgren, T. J., P. Ma, S. Kumar, M. Rocca, J. T. Morisette, C. Jarnevich and N. Benson. 2010. Ensemble habitat mapping of invasive plant species. *Risk Analysis* 30(2): 224-235.
40. Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
41. Tamura, N., A. Miyamoto, K. Sugimura and F. Yamada. 2004. Predicting habitat distribution of the alien Formosan squirrel using logistic regression model. *Journal of global Environmental Research* 8(1): 13-22.
42. Tarkesh, M. and G. Jetschke. 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. *Journal of Environmental and ecological statistics* 19(3): 437-457.
43. Tarom, S. 2014. Quantitative and stand characteristics of natural patches of *Crataegus azaralu*s in West Azarbaijan Province. MSc Thesis in Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. (In Farsi).
44. Thuiller, W. 2009. BIOMOD- a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Journal of Ecography* 32: 369-373.
45. Walker, R., E. TorokFalvy and M. H. Behboudian. 1987. Uptake and distribution of chloride, sodium and potassium ions and growth of salt treated pistachio. *Journal of agriculture Research* 121: 383-394.
46. Zare Chahoki, M., H. Piri Sahragard and H. Azarnivand. 2014. Plant species habitat distribution modelling in rangelands of Hozol-Sultan Lake of Qom with maximum entropy method. *Journal of Range Science* 4(3): 817-824. (In Farsi).

Predicting the Potential Habitat Distribution of *Crataegus Pontica* C. Koch, Using a Combined Modeling Approach in Lorestan Province

Gh. Rafiee[1], R. Jafari[1*], S. H. Matinkhah[1], M. Tarkesh[1], H. R. Karimzadeh[1] and Z. Jafari[1]

(Received: February 18-2020; Accepted: August 05-2020)

Abstract

Habitat degradation is one the important reasons of plant species extinction. Modeling techniques are widely used for identifying the potential habitats of different plant species. Thus, the purpose of current study was to determine potential habitats of Zalzalak in Lorestan Province. Species presence data and 23 environmental variables were collected in Lorestan Province. Correlation analysis was then applied to reduce the environmental variables into nine effective ones and potential habitat of the species was determined using five models including Maximum Entropy (MAXENT),Generalized Linear Models (GLM), Generalized Additive Models (GAM), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) and Generalized Boosting Model (GBM). Models were evaluated with receiver operating characteristic (ROC) plots, true skill statistic (TSS) and Kappa coefficients. Results showed that ROC and Kappa coefficients were excellent for all models and TSS values were excellent for GBM and MAXENT, good for MARS and GAM and medium for GLM model. According to the combined model, 40% of the province was classified as suitable and 60% as unsuitable. The precipitation of the three coldest months of the year, annual rainfall and elevation were the most effective environmental variables in Zalzalak habitat mapping. The maximum presence of the species occurred at the rainfall and elevation range of 160–220 mm and 1300–1850 m, respectively. Due to the high accuracy of the Zalzalak suitable habitat map, it can be used by related organizations, as an appropriate tool for reclamation of degraded regions and conservation of current habitats.

Keywords: Habitat modeling, Environmental variables, NDVI, Combined model, *Crataegus Pontica*

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Iran.
*: Corresponding Author, Email: reza.jafari@iut.ac.ir