دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

مدل‌سازی پراکنش گونه بنه (*Pistacia atlantica*) در استان ایلام با استفاده از روش بیشینه آنتروپی (MaxEnt)

وحید میرزایی‌زاده[۱]، علی مهدوی[۲]، حمیدرضا ناجی[۳] و حمزه احمدی[۴]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۲- دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، (نویسنده مسوول: a_amoli646@yahoo.com)
۳- استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۴- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷
صفحه: ۱۲۹ تا ۱۳۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تعیین وضعیت پراکنش و توزیع گونه‌ها و زیستگاه‌های تحت اشغال آن‌ها از اهمیت بسزایی در برنامه‌های حفاظتی و مدیریت گونه‌ها برخوردار است، اما زمان و بودجه در دسترس، مطالعات گونه‌ای در مقیاس وسیع را دشوار و در بسیاری از موارد غیرممکن می‌سازد. ازاین‌رو در این زمینه از روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه استفاده می‌شود. مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی باهدف شناسایی مناطق مستعد برای اولویت‌بندی حفاظت و جنگل‌کاری حائز اهمیت است. این مطالعه باهدف مدل‌سازی پراکنش گونه بنه (*Pistacia atlantica*) با استفاده از روش حداکثر آنتروپی و امکان‌سنجی توسعه این گونه در استان ایلام صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: بدین منظور نقاط حضور گونه در سراسر استان با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده جمع‌آوری و مختصات جغرافیایی آنها وارد نرم‌افزار حداکثر آنتروپی شد. نقشه عوامل محیطی شامل ۱۹ متغیر اقلیمی، ۳ متغیر توپوگرافی و متغیر پوشش برف تهیه شدند. این متغیرها به‌عنوان ورودی مدل استفاده شدند و ارتباط بین داده‌های حضور با نقشه‌های متغیر محیطی با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt به صورت ریاضی تعریف شد. نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش گونه با استفاده از روش مدل‌سازی حداکثر آنتروپی تهیه شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان داد که مدل با سطح زیر منحنی پلات (AUC) برابر با ۰/۹۴۷ پیش‌بینی عالی را در مقابل برابر با ۰/۵ که به معنی تصادفی بودن پیش‌بینی است، دارا است. آزمون جک نایف نیز نشان داد که متغیرهای محیطی دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب بیشترین تأثیر را بر حضور این گونه در استان ایلام دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق اطلاعات کلیدی و مهمی را درباره دامنه تحمل‌پذیری گونه بنه نسبت به متغیرهای محیطی تأثیرگذار فراهم آورده است. این اطلاعات در اتخاذ تصمیمات مدیریتی برای اولویت‌بندی مناطق حفاظتی و انجام اقدامات اصلاحی و حفاظتی بخصوص در مناطقی که پوشش گیاهی در حال تخریب است، مؤثر بوده و شانس موفقیت در طرح‌های کاشت و احیاء را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آزمون جک نایف، آشیان اکولوژیک، ایلام، بنه، حداکثر آنتروپی، مدل‌سازی

مقدمه

آگاهی از پراکنش گونه‌های گیاهی و عوامل تأثیرگذار بر آنها از اهمیت بسزایی در مدیریت، بهره‌برداری پایدار و حفاظت از آنها برخوردار است به‌ویژه در حال حاضر که زیستگاه‌ها و جمعیت گونه‌ها به دلیل افزایش تخریب‌های انسانی، تغییرات آب و هوایی و آفات و امراض محدودشده‌اند (۸)؛ اما به دلیل محدودیت زمانی و بودجه در دسترس برای مطالعه، اطلاعات کافی از پراکنش گونه‌ها در اختیار نیست. ازاین‌رو روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای ابزار مناسبی برای غلبه بر این محدودیت‌ها هستند. در این روش‌ها پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی از پراکنش مکانی متغیرهای محیطی که با پراکنش گیاهان همبستگی داشته یا کنترل‌کننده این پراکنش هستند، قابل پیش‌بینی است. امروزه با به‌کارگیری روش‌های آماری قوی و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS این مدل‌ها به‌سرعت در بوم‌شناسی درحال‌توسعه هستند (۱۷).

دستیابی به مدل‌های پیش‌بینی توزیع گونه‌ای مستلزم استفاده از عوامل محیطی مؤثر در استقرار گونه‌ها است. بااینکه پراکنش جغرافیایی هرگونه تحت تأثیر عواملی مثل آشیان اکولوژیکی آن، قدرت پراکنش و رقابت‌های بین‌گونه‌ای قرار دارد، مدل‌های پراکنش گونه‌ای عمدتاً بر فاکتورهای محیطی تمرکز دارند (۱۲). تاکنون روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای معرفی شده‌اند و عمده این روش‌ها وابسته به نقاط حضور و عدم حضور گونه و متغیرهای زیستگاهی هستند که تداعی‌کننده عناصر آشیان بوم‌شناختی آن‌گونه است. یکی از مدل‌های قوی در بررسی نحوه توزیع گونه‌ها الگوریتم آنتروپی[۱] بیشینه است (۲۶). الگوریتم آنتروپی بیشینه متأثر از محدودیت‌های ناشی از متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع مکانی گونه است. درواقع این مدل محل حضور را با متغیرهای محیطی در آن مناطق بررسی می‌کند و سپس در سراسر منطقه موردمطالعه از اصول آنتروپی بیشینه برای تولید نقشه پیش‌بینی تناسب رویشگاه در مناطقی که نمونه‌برداری نشده‌اند استفاده می‌کند.

امروزه جنگل‌های زاگرس به علت قطع بی‌رویه، چرای مفرط و هجوم آفات اغلب به حالت مخروبه درآمده‌اند و بیشتر فرم شاخه زاد را تشکیل می‌دهند که به صورت کوهستانی، تنک و در حال تخریب هستند. جنگل‌های استان ایلام نیز از این پدیده مستثنی نبوده و مورد تخریب انسانی و غیرانسانی قرارگرفته است. استان ایلام یکی از استان‌های غربی ایران است که در دل رشته‌کوه‌های زاگرس قرارگرفته است و ۱/۲ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص می‌دهد. این استان به‌واسطه شرایط توپوگرافی و جغرافیایی، اقلیم مساعد و نزولات جوی مناسب دارای پوشش گیاهی متنوع است و دربرگیرنده بخشی از جنگل‌های سلسله جبال زاگرس است. ۶۴۰۰۰۰ هکتار از مساحت استان پوشیده از جنگل‌های خاص ناحیه

۱- Maximum entropy

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]

زاگرس با گونه غالب بلوط ایرانی و بعد از آن‌گونه باارزش بنه هست.

جنگل‌های استان عمدتاً جزو جوامع جنگلی مناطق خشک و نیمه‌خشک سلسله جبال زاگرس محسوب می‌شوند. این جنگل‌ها از گونه‌های درختی مختلف شامل درختان بلوط، بنه یا پسته جنگلی، انجیر، گیلاس، شن، ارجن، زالزالک، سیاه تلو، کنار، تشکیل‌شده است (۱۶).

مساحت جنگل‌های بنه در ایران طبق تحقیقات تریگوبوف و مبین معادل ۲۳۲۵۲۰۰ هکتار برآورد شده است (۱۵).

تیپ‌های مهم بنه در استان ایلام براساس سه عامل ارتفاع از سطح دریا، سازند زمین‌شناسی و جهت واحد کاری و با در نظر گرفتن تیپ‌های غالب به شرح ذیل می‌باشند:

۱- تیپ بلوط – بنه (*Q.persica* + *P.atlantica*) – ۱۶۴۰۰۰ هکتار

۲- تیپ بلوط – خنجک (*Q.persica* + *P.khinjuk*) – ۲۴۰۰۰ هکتار

۳- تیپ بنه – بلوط (*P.atlantica* + *Q.persica*) – ۱۸۰۰۰ هکتار

درختان بنه به‌واسطه نقشی که از دیرباز در گذران زندگی ساکنان منطقه داشته‌اند از دیدگاه اقتصادی–اجتماعی از اهمیت خاصی برخوردارند. درخت بنه علاوه بر این‌که به‌عنوان‌گونه‌ای بسیار مقاوم و پایدار همچون دیگر درختان غرب کشور نقش مهمی در حفاظت آب‌وخاک دارد، تقریباً از تمام اجزای درخت به انحای مختلف استفاده می‌شود (۱۶).

درخت بنه به دلیل برخورداری از محصولات ارزشمند ثانویه کمتر مورد قطع و تخریب قرارگرفته‌اند. از درخت بنه سقز تراوش می‌شود که دارای ارزش تجاری و صادراتی بالایی هست که بدین‌جهت موردتوجه ساکنین برای بهره‌برداری قرارگرفته است. با توجه به تراکم جنگل‌های بنه در کشور و احتساب ۸ اصله درخت به‌طور متوسط در هر هکتار، تعداد درختان بنه ۱۸۶۰۰۰۰۰ اصله برآورد می‌گردد که با توجه به میزان محصول تولیدی (به‌طور متوسط ۵۰۰ گرم از هر درخت) و بهره‌برداری از یک‌سوم درختان، محصول سالیانه سقز نزدیک به ۳۱۰۰ تن خواهد بود (۱۶).

اگرچه در خصوص مدل‌سازی پراکنش گونه‌های جانوری با استفاده از روش تحلیل آنتروپی بیشینه مطالعات و زیادی در کشور انجام شده است (۲۱،۱۴،۱۳،۲۳) اما در خصوص گونه‌های گیاهی این مطالعات کمتر (۳۱،۲۴) انجام شده است. با این‌حال در خصوص نیازهای زیستی و پراکنش بنه مطالعاتی به روش‌های مختلف انجام‌شده است. نقی‌پور برج و همکاران (۲۲) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر توزیع جغرافیایی گونه پسته وحشی یا بنه (*Pistacia atlantica*) در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی پرداختند. در این مطالعه از ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی حاصل از دما و بارش و سه متغیر فیزیوگرافی، به‌عنوان ورودی مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) استفاده شد. نتایج نشان داد که به ترتیب میزان بارش سالیانه، دامنه تغییرات سالیانه دما و تغییرات فصلی دما بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه بنه داشتند. خدری و همکاران (۱۸) نیز در تحقیقی به تعیین آشیان اکولوژیک جنس زالزالک در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته و به این نتیجه رسیدند که پراکنش و تراکم این جنس با دمای میانگین سالانه، دمای حداکثر سالانه و درصد شیب رویشگاه معنادار است. در تحقیق دیگری احمدی‌نسب و ذوالفقاری (۱) به مطالعه خصوصیات بوم‌شناختی نسترن وحشی و زالزالک با روش تجزیه تطبیقی متعارفی و قوس‌گیر در استان آذربایجان شرقی پرداختند و نشان دادند که با افزایش فسفر خاک و کاهش میزان شیب، درصد پوشش زالزالک افزایش می‌یابد و کمترین مقدار اسیدیته در نمونه‌های خاک برداشت‌شده زالزالک بود. همچنین نتایج آنها نشان داد که حضور نسترن وحشی و زالزالک بیشتر در جهت‌های شمالی و در خاک‌های با بافت سبک با زهکشی زیاد است. این دو گیاه دارای نیازهای اکولوژیکی تقریباً یکسانی هستند که می‌توانند به صورت ترکیبی در جنگل‌کاری‌های طبیعی و فضاهای سبز شهری استفاده شوند. تیتشال و همکاران (۲۹)، در پژوهشی احتمال وجود درخت بلوط چوب‌پنبه را در ایتالیا با دو روش GARPو MAXENT باهم مقایسه کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تنش خشکی و سرما از عوامل مؤثر بر حضور بلوط چوب‌پنبه هست. همچنین صحت نقشه‌های پیش‌بینی به‌دست‌آمده با روش‌های زمین‌آماری که در مقیاس منطقه‌ای کالیبره شد، نشان می‌دهد که مدل‌سازی توزیع رویشگاه می‌تواند به‌عنوان روشی برای ارزیابی و شناسایی مناطق مناسب گسترش جنگل‌های بلوط چوب‌پنبه مورداستفاده قرار گیرد.

یانگ و همکاران (۳۰) نیز برای پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه دارویی *Justicia adhatoda* در کوهپایه‌های هیمالیا از مدل ماکسنت استفاده کردند.

بنه از تیره آناکاردیاسه (*Anacardiaceae*) و مجموعه متشکل از ۸۲ جنس و ۶۰۰ گونه هست. نوع برگ در جنس پسته مرکب تک شانه‌ای است که ممکن است مرکب تک شانه‌ای فرد و یا مرکب تک شانه‌ای زوج باشند. گونه‌های موجود در ایران از نوع مرکب تک شانه‌ای فرد هستند (۱۵). مطالعه حاضر در تکمیل مطالعات فوق و باهدف شناخت پارامترهای بوم‌شناختی اثرگذار روی پراکنش جغرافیایی گونه بنه به‌منظور اولویت‌بندی و تهیه نقشه مناطق حفاظتی و همچنین بررسی امکان کاشت این گونه در مناطق مشابه با رویشگاه بالفعل در استان ایلام و مدیریت بهتر رویشگاه‌های موجود با استفاده از روش تحلیل آنتروپی بیشینه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

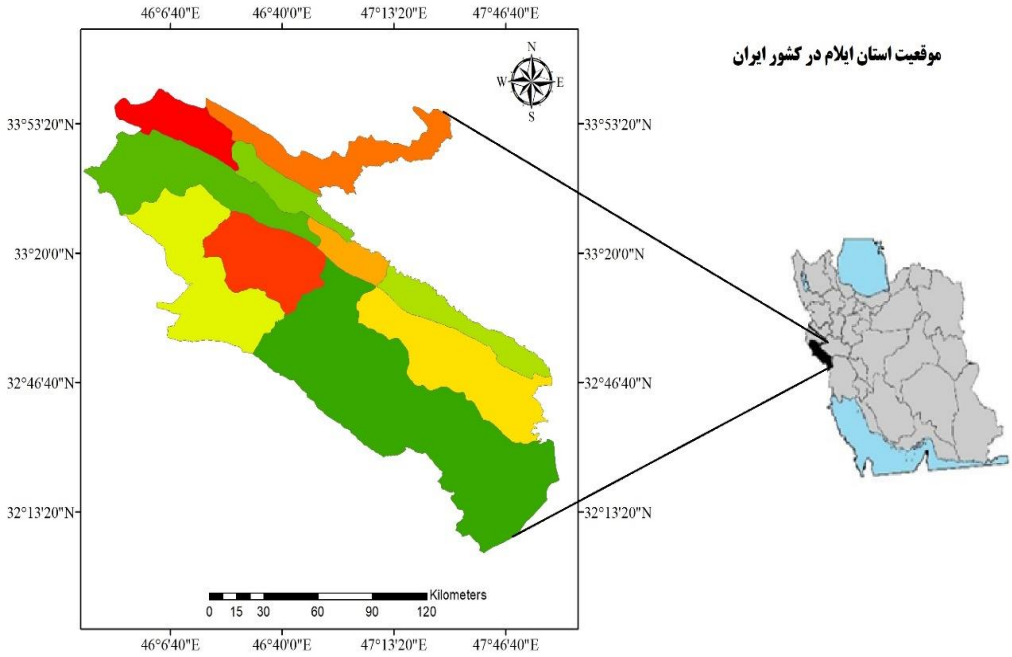
منطقه موردمطالعه

استان ایلام با مساحتی حدود ۲۰۰۰۰ کیلومترمربع در جنوب غربی کشور قرار دارد. این استان از موسیان در جنوب تا شیروان چرداول در شمال بین ۳۱ و ۵۸ تا ۳۴ و ۱۵ عرض جغرافیایی قرار دارد و با رشته‌کوه‌های مرتفع و موازی کبیر کوه از شمال غربی تا جنوب شرقی بین ۴۵ و ۲۴ تا ۰۲ و ۴۸ طول شرقی گسترده شده است. (شکل ۱).

استان ایلام که ۸۹ درصد آن را کوهستان‌ها و ناهمواری‌های پوشیده از جنگل، مرتع و اراضی بایر تشکیل می‌دهد جزئی از زاگرس چین‌خورده است که با گستردگی طولی از چینه‌ای

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]

موازی که معمولاً جهت شمال غربی – جنوب شرقی دارند، تشکیل یافته است. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در استان به ترتیب ۴۰ و ۳۱۰۰ متر هست.
به دلیل کوهستانی بودن استان و با توجه به اینکه دمای هوا ناشی از ارتفاع هر منطقه است، اقلیم‌های حرارتی مختلفی در استان حکم‌فرما است. این استان بر مبنای روش آمبرژه به پنج منطقه و اقلیمی سرد و مرطوب، خیلی مرطوب و سرد کوهستانی، نیمه مرطوب گرم، نیمه مرطوب سرد و نیمه‌خشک سرد تقسیم می‌شود (۱۶).

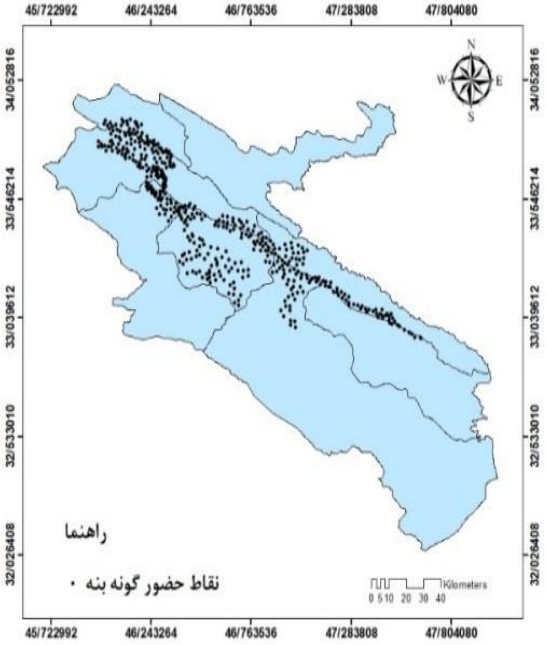


شکل ۱– موقعیت استان ایلام در ایران
Figure 1. Location of Ilam province in Iran

نقاط حضور گونه

به‌منظور بررسی حضور گونه بنه در سطح استان، ابتدا محدوده پراکنش گونه درختی بنه با استفاده از نقشه‌های تعاونی‌های بهره‌برداری سقز که از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهیه‌شده بود، مشخص گردید. سپس، بر اساس عوامل فیزیوگرافی (میزان شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا)، مناطق همگن محیطی تفکیک شدند و به صورت روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده نمونه‌برداری در طبقات همگن، انجام گردید. سپس نقاط حضور گونه در این مناطق جنگلی بر اساس بررسی‌های میدانی (اطلاعات کارشناسان ادارات منابع طبیعی، ساکنین مناطق و جنگل گردشی) انتخاب شد. ملاک این انتخاب، حضور توده‌هایی بود که گونه موردنظر در آنها متراکم باشد. ازآنجایی‌که برای یک قدرت تحلیل مناسب حداقل یک نسبت ده‌تایی از متغیر پیش‌بینی‌کننده برای اندازه نمونه، باید مورداستفاده قرار گیرد (۲۰). در نهایت نقشه حضور و عدم حضور گونه بنه با طول و عرض جغرافیایی مشخص و جهت ورود به مدل آماده‌سازی گردید. شکل ۲ موقعیت نقاط حضور و غیاب ثبت شده در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج اولیه حاصل از جنگل گردشی نشان داد که بخش بزرگی از استان دارای پایه‌های جنس بنه هستند. توده‌هایی با نسبت آمیختگی بالا که کمترین فاصله بین این توده‌ها پنج کیلومتر بود انتخاب شدند و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) به تعداد ۲۳۴ نقطه ثبت شدند (شکل ۲).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]



شکل ۲- نقشه نقاط ثبت‌شده حضور گونه بنه (*Pistacia atlantica*) در استان ایلام
Figure 2. Map of recorded points of presence of pistachio species (Pistacia atlantica) in Ilam province

اطلاعات محیطی مورداستفاده

به‌منظور بررسی پراکنش مکانی گونه بنه در استان ایلام به بررسی برخی عوامل محیطی مؤثر در انتشار جغرافیایی این گونه پرداخته شد و برای این کار نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۱۰/۷ برای تولید نقشه‌ها و متغیرهای محیطی و نرم‌افزارهای آماری استفاده شد. متغیرهای محیط زیستی مورداستفاده برای مدل شامل: ۱۹ متغیر اقلیمی، ۳ متغیر توپوگرافی و متغیر پوشش برف مطابق جدول ۱ است. لایه‌های محیطی به تعداد ۲۳ لایه برای بررسی توزیع گونه در شرایط حاضر در مقیاس ۳۰ ثانیه (تقریباً ۱×۱ کیلومتر، پیکسل‌هایی به ابعاد یک کیلومترمربع) و به تعداد ۲۳ لایه محیطی (لایه‌های فیزیوگرافی و اقلیمی) در مقیاس محلی برای ورود به مدل‌ها آماده‌سازی گردید.

جدول ۱- متغیرهای محیط زیستی مورداستفاده در مدل‌سازی پراکنش گونه بنه در استان ایلام
Table 1. Environmental variables used in modeling the distribution of pistachio species in Ilam province

ردیف	کد	متغیر	واحد
۱	Bio1	درجهٔ حرارت متوسط سالانه	درجه سانتی‌گراد
۲	Bio2	میانگین دامنه دمای روزانه (متوسط ماهانه (درجهٔ حرارت حداکثر - درجهٔ حرارت حداقل))	درجه سانتی‌گراد
۳	Bio3	هم‌دمایی (Bio2/Bio7) ×۱۰۰	
۴	Bio4	درجهٔ حرارت فصلی (انحراف معیار ×۱۰۰)	درجه سانتی‌گراد
۵	Bio5	حداکثر درجهٔ حرارت گرم‌ترین ماه سال	درجه سانتی‌گراد
۶	Bio6	حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال	درجه سانتی‌گراد
۷	Bio7	دامنه درجه حرارت سالانه	درجه سانتی‌گراد
۸	Bio8	متوسط درجه مرطوب‌ترین فصل سال	درجه سانتی‌گراد
۹	Bio9	متوسط درجه حرارت خشک ترین فصل سال	درجه سانتی‌گراد
۱۰	Bio10	متوسط درجه حرارت گرم‌ترین فصل سال	درجه سانتی‌گراد
۱۱	Bio11	متوسط درجه حرارت سردترین فصل سال	درجه سانتی‌گراد
۱۲	Bio12	بارش سالانه	میلی‌متر
۱۳	Bio13	بارش مرطوب‌ترین ماه	میلی‌متر
۱۴	Bio14	بارش خشک ترین ماه	میلی‌متر
۱۵	Bio15	بارش فصلی	میلی‌متر
۱۶	Bio16	بارش مرطوب‌ترین فصل سال	میلی‌متر
۱۷	Bio17	بارش خشک ترین فصل سال	میلی‌متر
۱۸	Bio18	بارش گرم‌ترین فصل سال	میلی‌متر
۱۹	Bio19	بارش سردترین فصل سال	میلی‌متر
۲۰	DEM	ارتفاع از سطح دریا	متر
۲۱	Slop	میزان شیب	درصد
۲۲	Aspect	جهت شیب	
۲۳	Snow	پوشش برف	هکتار

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]

اطلاعات فیزیوگرافی

نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در دو مقیاس ۱×۱ کیلومتر منطقه‌ای و ۹۰×۹۰ متر محلی، از پایگاه USGS (www.srtm.usgs.gov) دریافت گردید، سپس در نرم‌افزار ArcGIS 10.7، نقشه‌های شیب و جهت دامنه برای محدوده مورد مطالعاتی از نقشه رقومی ارتفاعی تهیه شدند.

اطلاعات اقلیمی

متغیرهایی که ازنظر بوم‌شناسی برای گونه‌های منطقه موردمطالعه دارای اهمیت می‌باشند، به تعداد ۱۹ متغیر از پایگاه داده‌های Worldclim نسخه ۲/۱ انتخاب شدند. این متغیرهای بیوکلیماتیک از درجه حرارت ماهانه و پارامترهای بارش در طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۰ اشتقاق یافته‌اند (۴) و برای رشد و توسعه گونه‌ها دارای اهمیت بوده و به‌طور گسترده‌ای برای بررسی توزیع گونه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند (۳).

نقشه پوشش برف

برف میزان آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد و عامل مؤثری در حفظ گیاهان و نهال‌های جوان از شدت سرما و خشکی محسوب شده و به‌واسطه عایق بودن خود، مانند یک پوشش عمل کرده و گیاه را از خطر یخبندان حفظ می‌کند. علاوه بر آن، برف نور را منعکس می‌کند و درجه حرارت هوا را بیش‌تر کرده و اگر ریزش آن مدت زیادی ادامه یابد، فصل فعالیت گیاه را کوتاه می‌سازد (۲۵). همچنین، رطوبت ناشی از ذوب برف در ماه‌های گرم سال، می‌تواند یک منبع مهم برای رفع نیازهای آبی گیاه جهت رشد و توسعه باشد. بنابراین آگاهی از این مطلب که آیا گونه موردمطالعه، فواصل نزدیک به خط برف را برای پراکنش ترجیح می‌دهد یا می‌تواند رطوبت موردنیاز خود را با فواصل دورتر و از طریق نفوذ ریشه تأمین نماید، دارای اهمیت است. لذا، جهت بررسی اثر این پارامتر، نقشه پوشش برف با استفاده از تصاویر MOD10A2 که به‌صورت ۸ روزه و در مقیاس ۵۰۰ متر که از پایگاه https://nsidc.org تهیه می‌گردند، برای دو ماه پربرف تعیین‌شده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی محدوده موردمطالعه (یعنی ژانویه و فوریه)، طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ به کمک نرم‌افزارهای ENVI 4.7 و TerrSet2020 تولید گردید. دلیل انتخاب این مجموعه متغیرها این است که مطابق مطالعات قبلی، این متغیرها دارای اثر مستقیم و غیرمستقیم بر پراکنش گونه بنه هستند دارای کمترین میزان همبستگی باهم بوده و اطلاعات نقشه‌ای آنها برای استفاده در مدل وجود داشت (۹). پس از آماده‌سازی لایه‌ها از نرم‌افزار Maxent نسخه ۳,۴,۱ برای انجام مدل‌سازی استفاده شد (۲۶).

مدل آنتروپی بیشینه (MaxEnt)

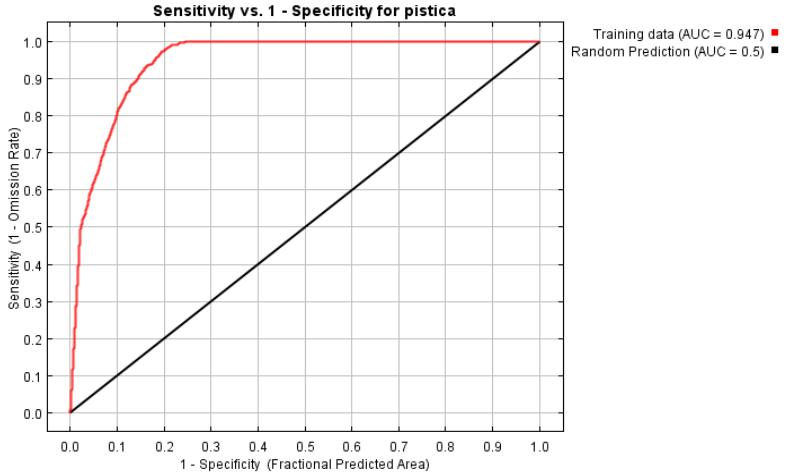
مدل آنتروپی بیشینه یک مدل توزیع گونه‌ای نشأت گرفته از ماشین‌های آموزشی است که برای پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه‌ها استفاده می‌شود. این مدل تنها به داده‌های حضور و اطلاعات محیطی نیاز دارد (۷). این روش از هر دو دسته داده‌های پیوسته و طبقه‌بندی‌شده و اثر متقابل میان متغیرها استفاده می‌کند (۲۷) همچنین مطالعات نشان دادند که حتی در مواقعی که حجم نمونه‌ها کم است، عملکرد روش MaxEnt می‌تواند با روش‌هایی که بالاترین دقت پیش‌بینی رادارند، رقابت کند و نتایج قابل قبولی را ارائه دهد (۵). در این روش، ابتدا لایه‌های محیطی ورودی بر اساس نقاط مشاهده‌شده وارد مدل می‌شوند. مدل MaxEnt بین نقاط رخداد گونه و متغیرهای محیطی بهترین تابع توزیع را بر اساس مفهوم حداکثر آنتروپی تعیین کرده و سپس تابع مذکور را در سرتاسر منطقه مورد مطالعه تعمیم می‌دهد و نقشه پراکنش گونه هدف را تولید می‌کند. مدل برای توزیع حاضر در نرم‌افزار MaxEnt نسخه ۳,۴,۱ اجرا شد. برای تولید مدل، ۷۵ درصد داده‌ها به‌صورت تصادفی برای داده‌های آموزشی و ۲۵ درصد برای داده‌های آزمون جهت ارزیابی مستقل مدل و حداکثر تعداد نقاط پس‌زمینه ۱۰۰۰۰ با ۱۵ تکرار در نظر گرفته شد و مابقی تنظیمات به‌صورت پیش‌فرض پذیرفته گردید (۳۰). خروجی نرم‌افزار برای هر بار تکرار یک نقشه پیوسته احتمال حضور رویشگاه است که نقشه میانگین از ۱۵ تکرار به‌عنوان خروجی نهایی در نظر گرفته شد. خروجی نرم‌افزار در سه فرمت خام، تجمعی و لجستیک ارائه می‌شود که هر سه فرمت یکنواخت و به هم مربوط هستند اما نحوه بیان آنها متفاوت است (۲۶).

به‌منظور استفاده از مدل در پیش‌بینی حضور گونه، لازم است مدل، ارزیابی و اعتبارسنجی شود تا میزان صحت آن معلوم شود. شاخص سطح زیر منحنی (AUC) عامل دریافت‌کننده (ROC)که برابر با احتمال تشخیص صحیح میان نقاط حضور و عدم حضور توسط یک مدل است (۱۰) به‌عنوان بهترین استاندارد ارزیابی در مدل‌های پراکنش گونه موردقبول بوده و به‌طور گسترده استفاده‌شده است (۶). مقادیر سطح زیر منحنی بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند اگر سطح زیر منحنی کمتر از ۰/۵ باشد، بیان‌کننده تصادفی بودن مدل است و اگر این مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین نحو نقاط حضور و عدم حضور را از یکدیگر تفکیک می‌کند. سطح زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر مدلی خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و سطح زیر منحنی بیش از ۰/۹ نشان‌دهنده قدرت تشخیص بسیار عالی مدل است (۷). این منحنی برای هر دو داده آزمون و آموزشی ترسیم شد. در فرایند مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، دانستن اینکه کدام متغیرها و به چه میزان در پیش‌بینی حضور گونه نقش دارند نیز اهمیت دارد. آزمون جک نایف برآوردی آماری و دقیق از اهمیت متغیرها در پیش‌بینی مدل را فراهم می‌کند. این روش یک متغیر را در زمان اجرا حذف کرده و مدل را بر اساس متغیرهای باقی‌مانده اجرا می‌کند. سپس مدلی با هر یک از متغیرهای کنار گذاشته‌شده ایجاد می‌کند و در نهایت مدلی نهایی با تمامی متغیرهای شرکت‌کننده در مدل ایجاد می‌کند. با این کار اطلاعاتی از تأثیر هر متغیر در مدل در شرایطی که مهم است میزان سهم هر متغیر در توضیح پراکنش گونه‌ها و اینکه هر متغیر چه میزان اطلاعات منحصربه‌فرد ایجاد می‌کند فراهم می‌شود (۲۷).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]

نتایج و بحث

شکل ۳ سطح زیر منحنی (AUC) مدل حاصل از نرم‌افزار آنتروپی بیشینه را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص ۰/۹۴۷ است که نشان‌دهنده پیش‌بینی عالی مدل است. سهم هر یک از متغیرها در توسعه مدل نیز در جدول ۲ نشان داده‌شده است. مطابق این جدول مهم‌ترین متغیرهایی که بیشترین سهم را در مدل داشته‌اند به ترتیب دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا هستند. دو متغیر دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت بیش از نیمی از درصد سهم کل متغیرها یعنی ۵۸ درصد پراکنش گونه را توجیه می‌کنند و بیشترین سهم را در توجیه پراکنش آن دارا هستند.



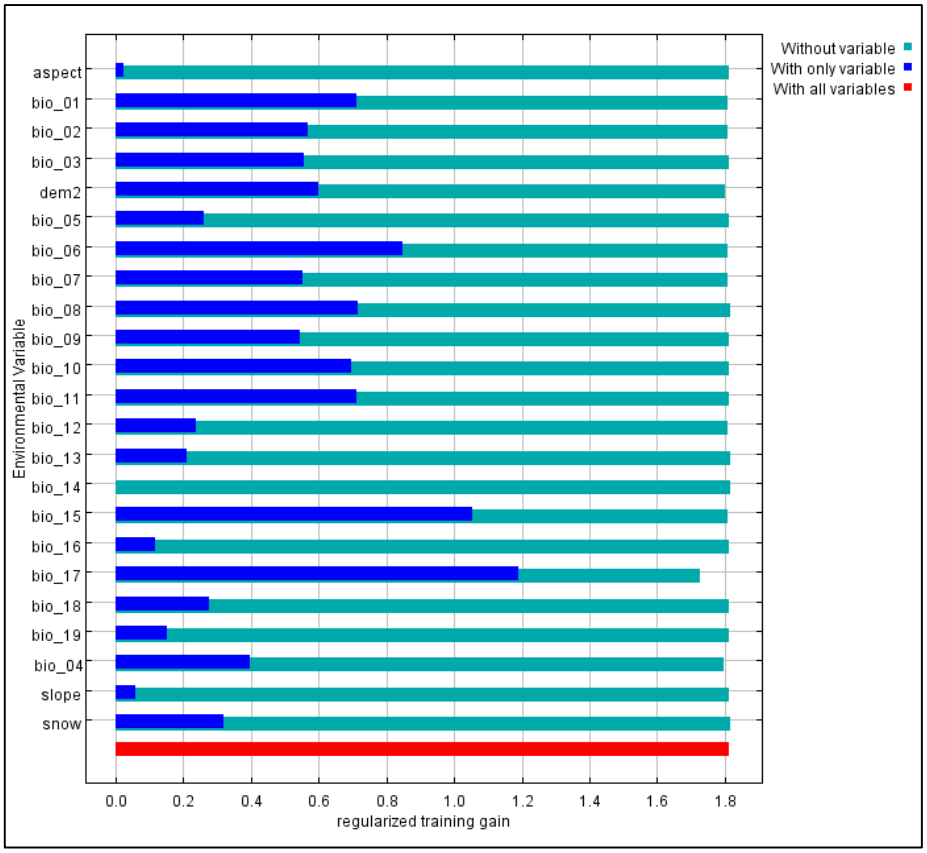
شکل ۳- منحنی ROC و مقدار AUC مدل پراکنش گونه بنه در استان ایلام
Figure 3. ROC curve and AUC value of pistachio species distribution model in Ilam province

جدول ۲- سهم تأثیرگذاری (اهمیت) متغیرهای زیست‌محیطی در پراکنش گونه بنه در استان ایلام
Table 2. The impact (importance) of environmental variables on the distribution of pistachio species in Ilam province

ردیف	متغیر	درصد اهمیت	ردیف	متغیر	درصد اهمیت
۱	دامنه درجه حرارت سالانه	۳۸	۱۳	بارش فصلی	۰/۷
۲	متوسط ماهانه	۲۰	۱۴	متوسط درجه حرارت سردترین فصل سال	۰/۶
۳	شاخص هم‌دمایی	۱۴/۵	۱۵	جهت	۰/۵
۴	بارش سالانه	۷/۶	۱۶	درصد شیب	۰/۵
۵	ارتفاع از سطح دریا	۵/۷	۱۷	حداکثر درجهٔ حرارت گرم‌ترین ماه سال	۰/۴
۶	درجهٔ حرارت فصلی	۴/۱	۱۸	حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال	۰/۳
۷	درجهٔ حرارت متوسط سالانه	۱/۷	۱۹	بارش سردترین فصل سال	۰/۱
۸	بارش مرطوب‌ترین ماه	۱/۶	۲۰	بارش گرم‌ترین فصل سال	۰
۹	بارش مرطوب‌ترین فصل سال	۱/۲	۲۱	متوسط درجه مرطوب‌ترین فصل سال	۰
۱۰	پوشش برف	۱	۲۲	متوسط درجه حرارت گرم‌ترین فصل سال	۰
۱۱	متوسط درجه حرارت خشک ترین فصل سال	۰/۹	۲۳	بارش خشک ترین ماه	۰
۱۲	بارش خشک ترین فصل سال	۰/۸			

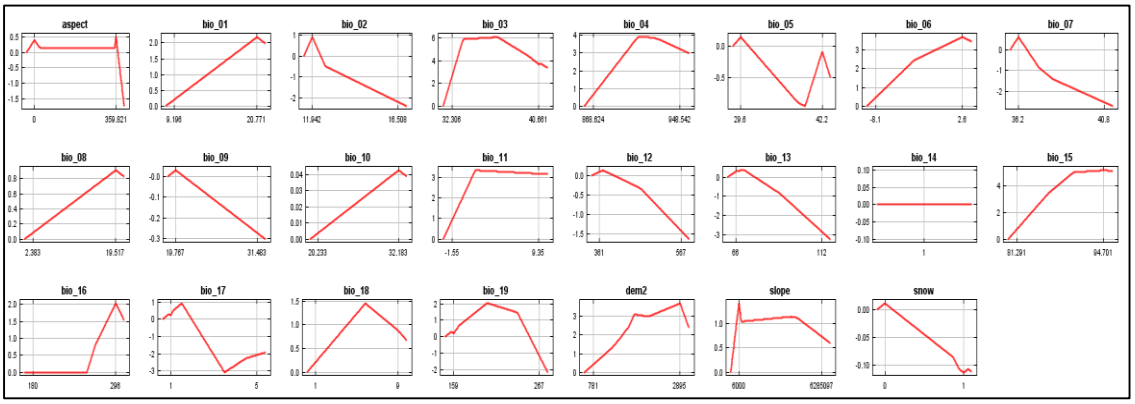
شکل ۴ نتایج تحلیل جک نایف را نشان می‌دهد. این منحنی دستیابی به افزوده را در سه حالت مختلف مدل (بدون متغیری خاص، تنها با یک متغیر خاص و با تمام متغیرها) نشان می‌دهد. مطابق نتایج این تحلیل، دامنه درجه حرارت سالانه متغیری است که حذف آن بیشترین کاهش را در AUC ایجاد می‌کند. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین متغیرها که بیشترین سهم را در پیش‌بینی مدل داشته‌اند شامل دامنه درجه حرارت سالانه (Bio7)، متوسط ماهانه درجه حرارت (Bio1)، شاخص هم‌دمایی (Bio3)، بارش سالانه (Bio12) و ارتفاع از سطح دریا (DEM) هستند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]



شکل ۴- نتایج آزمون جک نایف برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی در توسعه مدل
Figure 4. Results of Jack Knife test to determine the importance of environmental variables in model development

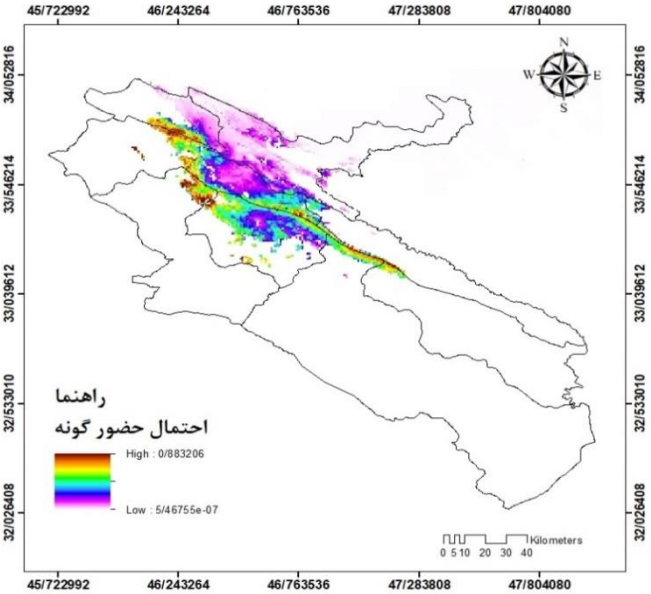
در این مطالعه منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی نیز ترسیم شدند (شکل ۵). منحنی‌های پاسخ نشان‌دهنده اثر متغیرها روی احتمال توزیع گونه هستند و اینکه هر متغیر به چه شیوه‌ای بر پراکنش گونه تأثیرگذار بوده است.



شکل ۵- منحنی‌های پاسخ گونه بنه نسبت به متغیرهای محیطی
Figure 5. Pistachio species response curves to environmental variables

در نهایت بر اساس کارایی خوب مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه بنه بر اساس نقاط حضور احتمال حضور (پراکنش) این گونه در استان ایلام تعیین شد (شکل ۶). این شکل نقشه‌ای پیوسته حاصل از ۱۵ تکرار است که در آن اعداد بزرگ‌تر بیانگر احتمال بیشتر حضور گونه است. مطابق این شکل بهترین مکان‌های پیش‌بینی‌شده برای حضور گونه بنه واقع در شهرستان‌های ملکشاهی، ایلام، ایوان و بدره هستند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]



شکل ۶- پراکنش پیش‌بینی‌شده برای گونه بنه در استان ایلام
Figure 6. Predicted distribution for pistachio species in Ilam province

نتیجه‌گیری کلی

پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی و استقرار آنها در عرصه‌های طبیعی، بر اساس دامنه بردباری‌شان به عوامل مختلف محیطی و ویژگی‌های بوم‌شناختی صورت می‌پذیرد؛ بنابراین شناخت عوامل تأثیرگذار بر پراکنش جغرافیایی می‌تواند در شناسایی مکان بالقوه گونه‌هایی که ارزش اقتصادی و حفاظتی آب‌وخاک را دارند، کارآمد باشد و همچنین به احیا و توسعه اکوسیستم‌های تخریب‌شده کمک کند. مدل‌های پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی مطالعاتی هستند که با داشتن داده‌هایی با قابلیت اطمینان بالا می‌توانند از صرف وقت و هزینه زیاد جلوگیری کرده و انجام تحقیقات اکولوژیکی را مقرون‌به‌صرفه می‌کند (۱۱). مدل آنتروپی بیشینه ثابت کرده که در بحث تعیین مطلوبیت زیستگاه و پراکنش گونه‌ها خیلی مؤثر بوده زیرا فقط بر داده‌های حضور متکی بوده و فاقد بسیاری از عوارض مرتبط با روش‌های تحلیلی حضور غیاب است (۳). نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی عملکرد مدل آنتروپی بیشینه از طریق آماره سطح زیر منحنی (AUC) ۰/۹۴۷ نشان می‌دهد مدل از توانایی پیش‌بینی عالی برخوردار است. مطالعات بیانگر آن است که حتی در مواقعی که تعداد نمونه‌ها کم است، عملکرد پیش‌بینی روش آنتروپی حداکثر، می‌تواند با روش‌هایی که بالاترین دقت پیش‌بینی را دارند، رقابت کند و نتایج قابل قبولی را ارائه دهد (۱۰،۷،۲۹).

در فرآیند مدل‌سازی دانستن اینکه کدام متغیرها و به چه میزان در مدل‌سازی نقش داشته‌اند اهمیت دارد، نتایج حاصل از عملکرد گونه در امتداد شیب تغییرات محیطی از طریق منحنی‌های پاسخ به دست می‌آید و بر اساس بررسی که در ارتباط با عوامل مؤثر بر پراکنش گونه بنه در و این پژوهش انجام شد، مشخص شد که دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه بنه در سطح استان ایلام است. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه نقی پور (۲۲) در خصوص بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر گسترش تیپ‌های جنگلی در استان چهارمحال و بختیاری همخوانی دارد. ایشان با بررسی ۷۱ متغیر اقلیمی و با روش تحلیل عاملی نشان دادند که دمای گرمایشی و بارش از مهمترین عوامل اقلیمی مؤثر بر پراکنش تیپ‌های جنگلی دارای گونه زالزالک به‌عنوان یکی از گونه‌های غالب در استان چهارمحال و بختیاری هستند. همچنین کوژزریده و همکاران (۱۹) نیز تغییرات فصلی دما را یکی از مهمترین عوامل مؤثر در پراکنش گونه بنه معرفی نمودند. بانگ و همکاران (۲۹) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Pistacia chinensis* در کشور چین، بارندگی را به‌عنوان مهمترین عامل مؤثر در پراکنش این گونه ذکر نمودند. در مطالعه حیدریان آقاخانی و همکاران (۱۱) نیز میانگین دمای خشک ترین فصل و بارندگی سالانه در حدود ۸۵ درصد تغییرات پراکنش گونه موردمطالعه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه داشتند. تیلر و همکاران (۲۸) بیان کرد که افزایش دما باعث حرکت گونه‌های نیمکره شمالی به سمت ارتفاعات خواهد شد. البته از نظر وی تغییرات در اکوسیستم‌های مختلف یکسان نیست و هر اکوسیستم باید با روش‌های مناسب بررسی شود. همان‌طور که گونه‌ها به سمت قطب یا ارتفاعات می‌روند ممکن است ناپدید شوند و یا به پناهگاهی دور از بقیه محدود شوند درحالی‌که گونه‌های دیگر ممکن است دامنه پراکنش خود را گسترش دهند.

منحنی عکس‌العمل گونه بنه نسبت به ارتفاع نشان می‌دهد، بیشترین احتمال حضور گونه در مناطقی با ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر پیش‌بینی می‌شود و با افزایش ارتفاع احتمال حضور گونه افزایش می‌شود ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یکی از عوامل مهم محدودکننده گسترش گیاهان، می‌تواند از طریق تأثیر بر درجه حرارت، فشار هوا، ازدیاد اشعه فرابنفش و تغییر در نوع و

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]

میزان بارندگی باعث تغییر در شرایط اقلیمی هر رویشگاه شود. با توجه به این نکته، گونه‌های مختلف گیاهی با توجه به نیازهای بوم‌شناختی خود هرکدام در یک محدوده ارتفاعی استقرار می‌یابند. مطالعات متعددی نقش عامل ارتفاع از سطح دریا را به‌عنوان یک عامل دارای تأثیر مثبت در پراکنش گونه‌ها مورد تأکید قرار داده‌اند (۴،۵).

بنه از پائین‌ترین حد رویش بلوط ایرانی از سطح دریا تا بالاترین حد رویش همین‌گونه آن را همراهی می‌نماید و دامنه ارتفاعی پراکنش آن بسیار وسیع هست؛ اما بهترین رویشگاه این گونه در حوزه رویشی زاگرس در ارتفاعات ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا است. بنه در جهات مختلف جغرافیائی می‌روید ولی بیشترین سطح گسترش آن در جهات جنوبی است و نیز سرشت نورپسند آن موجب شده در جهات جنوبی دارای تاج پوشش و تراکم بیشتری باشد (۱۳،۹) که این موضوع با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

تیتشال و همکاران (۲۹) بیان می‌کنند که ارتفاع، شیب و جهت سه فاکتور توپوگرافی مهمی هستند که پراکنش و الگوهای پوشش گیاهی را در مناطق کوهستانی کنترل می‌کنند. خصوصیات توپوگرافیک مانند ارتفاع، شیب و جهت می‌تواند در بعضی از خصوصیات خاک از قبیل عمق خاک، رطوبت و مقدار ماده آلی خاک کاملاً تأثیرگذار باشد و از این طریق پراکنش گیاهان را کنترل کند (۲). در مطالعه حاضر نیز ارتفاع مهمترین عامل توپوگرافی در پیش‌بینی پراکنش گونه بنه شناخته شد. نتایج حاصل از آزمون جک نایف نشان داد که متغیرهای دامنه درجه حرارت سالانه، متوسط ماهانه درجه حرارت، شاخص هم‌دمایی، بارش سالانه و ارتفاع از سطح دریا روی پراکنش گونه تأثیر بیشتری نسبت به دیگر متغیرها دارند که با نتایج حاصل از مطالعه‌ای هماهنگی دارد که دمای گرمایشی را مهمترین عامل در پراکنش پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری می‌داند (۲۵). تأثیر عامل دما بیشتر در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی استان بارز است و طبق منحنی پاسخ گونه، بیشترین پراکنش گونه بنه نیز در جهت جنوبی بوده است. علاوه بر موارد اشاره‌شده، بهره‌گیری از منحنی‌های پاسخ درروش حداکثر آنتروپی، اطلاعات زیادی راجع به دامنه عوامل محیطی مربوط به هر یک از گونه‌های گیاهی فراهم خواهد آورد که این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مرتبط با پوشش گیاهی، انتخاب متغیرهای مناسب برای انجام مطالعات مرتبط با پوشش گیاهی، انتخاب گونه‌های اصلاحی سازگار برای انجام فعالیت اصلاحی در مناطق مختلف و پیشنهاد مناطق با تناسب بالا برای استقرار دوباره گونه موردنظر مفید باشد. قابلیت‌های ویژه مدل حداکثر آنتروپی این امکان را فراهم می‌آورد تا با شناخت متغیرهای دارای تأثیر بیشتر در وقوع گونه‌های مختلف، در مطالعات بعدی تنها بر روی متغیرهای مهم متمرکز شد و درنتیجه هزینه و زمان مورداستفاده برای تحقیقات کاهش و در مقابل دقت پیش‌بینی مدل‌ها افزایش یابد. درمجموع می‌توان نتیجه گرفت با توجه به میزان تطابق بالای نقشه‌های پیش‌بینی با نقشه‌های واقعی پراکنش گونه در این مطالعه، روش آنتروپی حداکثر می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب در تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه‌های گیاهی مورداستفاده قرار گیرد. نتایج این تحقیق اطلاعات کلیدی و مهمی را درباره دامنه تحمل‌پذیری گونه بنه نسبت به متغیرهای محیطی تأثیرگذار فراهم آورده است. این اطلاعات در اتخاذ تصمیمات مدیریتی برای اولویت‌بندی مناطق حفاظتی و انجام اقدامات اصلاحی و حفاظتی بخصوص در مناطقی که پوشش گیاهی در حال تخریب است، مؤثر بوده و شانس موفقیت در طرح‌های کاشت و احیاء را افزایش می‌دهد.

منابع

1. Ahmadi Nasab, F. and A. Zolfaghari. 2017. Study of ecological characteristics of wild and hawthorn Nastaran by conventional and arc comparative comparative analysis method in East Azarbaijan province, Iran. Journal of Crop Ecology, Iran, 13(1): 49-59 (In Persian).
2. Ashcroft, M.B., K.O. French and L.A. Chisholm. 2012. A simple post-hoc method to add spatial context to predictive species. Ecological Modelling, 228: 17-26.
3. Baldwin, R.A. 2009. Use of Maximum Entropy Modeling in Wildlife Research. Kearney Agricultural Center, University of California, 11: 854-866.
4. Browicz, K. and D. Zohary. 1995. The genus *Amygdalus* L. (Rosaceae): species relationships, distribution and evolution under domestication. Gentic, Resourses and crop evolution, 43(3): 229-247.
5. Denisov, V.P. 1982. Distribution and variability of the wild almonds of Azerbaidzhan. Byuleten-Vsesoyuznogo-ordena-Lenina-I-Ordena-DruzhbyNarodov- Nauchno-Issledovatel skogo. Instituta Rastenievodstva. Imeni-N-I-Vavilova, 126: 9-42.
6. Duan, R.Y., X.Q. Kong, M.Y. Huang, W.Y. Fan and Z.G. Wang. 2014. The Predictive performance and stability of six species distribution models. PLoS ONE, 9(11): e112764.
7. Elith, J., C.H. Graham and R.P. Anderson. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Echography, 29: 129-151.
8. Enright, N.J., B.P. Miller and R. Akhter. 2005. Desert Vegetation and Vegetation-Environment relationships in Kirthar National Park, Sindh, Pakistan. Journal of Arid Environments, 61: 397-418.
9. Fattahi, A. 1995. History of Zagros vegetation, especially pistachio forests, article presented in the first national seminar of pistachio (green pearl). Ilam (In Persian).
10. Fielding, A.H. and J.F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation, 24(1): 38-49.
11. Heidarian Agakhani, M., M. Torkashm, Z. Jafarian and H. Sanguni. 2016. Prediction of plant species distribution using species distribution models (SDM) Introduction of Maximum Entropy Method, Forest Resources Planning Quarterly, 1(1): 1-7 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]

12. Hirzel, A., J. Hausser, D. Chessel and N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without absence data. Ecology, 83: 2027-2036.
13. Hosseinzadeh, M., M. Aliabadian and I. Rastegar Pouyani. 2015. Evaluation of current and future geographical distribution of invasive species of domestic yellow-bellied jackal, Hemidactylus flaviviridis, Ruppell in Iran using species distribution modeling. Animal Research, 28(4): 431-440 (In Persian).
14. Jafari, A., R. Mirzaei and R. Zamani Ahmad Mahmoudi. 2015, Modeling the distribution of Isfahan rams and ewes in Tang Sayad protected area based on oblique improvement of presence data and selection of area variables using maximum entropy, Journal of Applied Ecology, 5(15): 39-48 (In Persian).
15. Karamshahi, A., F. Karami and M. Tahmasebi. 2011. Coriander trees (forest pistachios). Ilam: Ilam University (In Persian).
16. Karamshahi, A. and M. Tahmasebi. 2003. Investigation of Saqez exploitation cooperatives in Ilam province (research project). Ilam: Ilam University and the General Department of Cooperatives of Ilam Province (In Persian).
17. Khalili, F., M. Malekian and M.R. Hemami. 2018. Habitat suitability modelling of Persian squirrel (*Sciurus anomalus*) in Zagros forests, western Iran. Journal of Wildlife and Biodiversity, 2(2): 56-64.
18. Khedri, S., A. Soltani and A. Askari. 2014. Determining the ecological nests of hawthorn in Chaharmahal and Bakhtiari province, Master Thesis in Forestry, Shahrekord University, 75 p (In Persian).
19. Kozhoridze, G., N. Orlovsky, L. Orlovsky, D.G. Blumberg, A. Golan-Goldhirsh. 2015. Geographic distribution and migration pathways of Pistacia–present, past and future. Ecography, (38)11: 1141-1154.
20. Miller, J. 2010. Species Distribution Modeling. Geography Compass, 4/6: 490-509.
21. Mirzaei, R., M. Homami, A. Ismaili and H. Rezaei. 2003. Modeling the distribution of Falco naumanni in Golestan province Journal of Environmental Research, 4(8): 149-156 (In Persian).
22. Naghi Pourbarj, A., M. Heidarian Agakhani and H. Sanguni. 2018. Predicting the effect of climate change on the geographical distribution of pistachio (*Pistacia atlantica*) in the Central Zagros region. Plant Ecology, (Online) 6(13) (In Persian).
23. Naqibzadeh, A., N. Rezaei, J. Colonel and N. Sidi. 2018. Modeling the habitat suitability of wild sheep species in Borouyeh Wildlife Sanctuary of Yazd Province using MaxEntropy method (MaxEnt). Animal Environment, 10(4): 75-82 (In Persian).
24. Naseri Hesar, N., M. Zare Chahouki and S. Saburi Rad. 2014. Introduction of maximum entropy method as a tool for modeling the prediction of habitat of plant species in desert areas (Case study: Eshtehard rangelands), Second National Desert Conference with the approach of dry and desert management, 9 pp (In Persian).
25. Parisaei, B. 2008. Investigating the Impact of Important Climatic Elements on the Distribution of Plant Species in Chaharmahal and Bakhtiari Province, M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, 120 pp (In Persian).
26. Philips, S. 2010. A brief tutorial on Maxent. Exercise, American Museum of Natural History, New York.
27. Phillips, S.J., R.P. Anderson and R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modeling, 190: 231-259.
28. Thuiller, W. 2014. Editorial commentary on BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. Global change biology, 20(12): 3591-3592.
29. Titshall, L.W., T.G. O'Connor and C.D. Morris. 2000. Effect of long-term exclusion of fire and herbivory on the soils and vegetation of sour grassland. African Journal of Range and Forage Science, 17: 70-80.
30. Yang, X.Q., S.P.S. Kushwaha, S. Saran. J. Xu and P.S. Roy. 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, Justicia adhatoda L. in Lesser Himalayan foothills. Ecological Engineering, 51: 83-87.
31. Zare Chahouki, M.A., H. Piri Sahragard and H. Azarnivand. 2003. Modeling the habitat distribution of plant species in the rangelands of Sultan Qom basin by maximum entropy method. Range Magazine, 7(3): 212- 221 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]

Modeling the Distribution of Species *Pistacia atlantica* in Ilam Province using MaxEnt Methods

Vahid Mirzaeizadeh[1], Ali Mahdavi[2], Hamidreza Naji[3] and Hamzeh Ahmadi[4]

1- PhD Student of Forest Management, Faculty of Agriculture, Ilam University
2- Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University,
(Corresponding author: a_amoli646@yahoo.com)
3-Assistant Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University
4- PhD Student, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University
Received: 22 December, 2021 Accepted: 17 January, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Determining the distribution status of species and habitats under their occupation is very important in species conservation and management programs, but the available time and budget make large-scale species studies difficult and in many cases impossible. Therefore, in this field, species distribution modeling methods are used. Modeling the distribution of plant species with the aim of identifying areas prone to conservation conservation and afforestation is important. The aim of this study was to model the distribution of pistachio species using methods and feasibility study of the development of this species in Ilam province.

Material and Methods: For this purpose, the presence points of the species throughout the province were collected using stratified random sampling method and their geographical coordinates were entered into the software MaxEnt. Map of environmental factors including 19 climatic variables, 3 topographic variables and snow cover variables were prepared. These variables were used as model input and the relationship between attendance data and environmental variable maps was defined mathematically using software. Then species distribution prediction maps were prepared using Maximum Entropy (MaxEnt) modeling method.

Results: The results of model evaluation showed that the model with the area under the plot curve AUC: 0.947 has an excellent prediction versus 0.5 which means that the prediction is random. Jack Knife test also showed that the model was successful in predicting the distribution of pistachio species and the factors of annual temperature range, mean temperature , isotherm index, annual precipitation and altitude, respectively, had the greatest impact on the presence of this species in Ilam province.

Conclusion: The results of this study have provided key and important information about the tolerance range of Pistica species to environmental variables. This information is effective in making management decisions to prioritize conservation areas and to take remedial and conservation measures, especially in areas where vegetation is being degraded, and increases the chances of success in planting and rehabilitation projects.

Keywords: Baneh, Ilam, Jack Knife test, MaxEnt, Modeling

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-07-18]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.20.12.9]
[DOI: 10.52547/ifej.10.20.129]