بوم‌شناسی کاربردی/ سال پانزدهم / شماره اول / ۱۴۰۵/ صفحات ۱ تا ۱۴

مدل‌سازی رویشگاه بالقوه دو گونه درختی جنس *Amygdalus* در استان لرستان

زهرا نیک نداف [۱*]، سید حمید متین‌خواه [۲] و سعید بهزادی [۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۵)

چکیده

درک الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی و عوامل مؤثر بر آن، نقش مهمی در حفاظت و مدیریت پایدار اکوسیستم‌های طبیعی دارد. پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه و شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش دو گونه بومی و با ارزش بادامک (*Amygdalus scoparia*) و بادام وحشی شرقی یا ارژن (*Amygdalus orientalis*) در استان لرستان انجام شد. مدل‌سازی مطلوبیت بالقوه رویشگاه با استفاده از الگوریتم MaxEntو مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی انجام گرفت. نتایج نشان داد که به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۲۸/۵ درصد از مساحت استان دارای مطلوبیت رویشگاهی بالا برای *A. scoparia* و *A. orientalis* است. رویشگاه‌های مطلوب *A. scoparia* عمدتاً در بخش‌های جنوبی، جنوب‌شرقی و مرکزی استان و در ارتفاعات متوسط و شیب‌های ملایم قرار داشتند، درحالی‌که رویشگاه‌های مطلوب *A. orientalis* بیشتر در بخش‌های شمالی و مرکزی و در ارتفاعات میانی تا نسبتاً بالا پراکنده بودند. مقادیر AUC برای گونه‌های *A. scoparia* و *A. orientalis* به‌ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۷ بود، درحالی‌که مقدار TSS برای هر دو گونه ۰/۸۶ بود؛ این مقادیر نشان‌دهنده عملکرد قابل‌قبول مدل‌ها بودند. اگرچه متغیرهای توپوگرافی برای هر دو گونه اهمیت داشتند، سهم سایر عوامل محیطی متفاوت بود. *A. orientalis* دامنه اکولوژیک محدودتری نشان داد. یافته‌ها می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی حفاظتی گونه‌محور در استان لرستان فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: بادامک، ارژن، مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه، حفاظت، جنگل.

۱. دانشجو دکتری علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳. دانشجو دکتری علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: zahraniknadaf@na.iut.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

مقدمه

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین مؤلفه‌های طبیعی، نقشی بنیادین در حفظ تعادل و پایداری محیط‌زیست ایفا می‌کنند و از ارکان اصلی دستیابی به توسعه پایدار به شمار می‌روند. این اکوسیستم‌ها از طریق حفاظت از تنوع زیستی، تثبیت خاک، تنظیم چرخه‌های زیست‌ژئوشیمیایی و هیدرولوژیکی و نیز ارائه خدمات اکوسیستمی متعدد، نقشی حیاتی در پایداری سامانه‌های طبیعی و انسانی دارند (۱۷، ۱۸، ۲۱ و ۲۹). از این‌رو آگاهی از مطلوبیت رویشگاه‌های گونه‌های درختی بخش مهمی از اقدامات حفاظتی برای آنها است. در این میان، جنگل‌های زاگرس، به‌ویژه در استان لرستان، از غنی‌ترین و در عین حال آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌های ایران محسوب می‌شوند. این رویشگاه‌ها به‌دلیل تنوع بالای گونه‌ای، شرایط اقلیمی خاص و موقعیت جغرافیایی ویژه، دارای ارزش‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی چشمگیری بوده و سهم بسزایی در حفاظت از تنوع زیستی، کنترل فرسایش خاک، تنظیم منابع آب و تأمین معیشت جوامع محلی دارند (۱۶ و ۲۴).

الگوی پراکنش گیاهان تحت تاثیر عوامل مختلف بوم‌شناختی مانند فاکتورهای ادافیکی، ویژگی‌های توپوگرافی و اقلیمی قرار دارد (۲ و ۵). گونه‌های درختی و درختچه‌ای بومی زاگرس، به‌ویژه گونه‌هایی که با شرایط اقلیمی سخت این منطقه سازگار شده‌اند، ستون فقرات این اکوسیستم‌ها را تشکیل می‌دهند. جنس *Amygdalus* از خانواده Rosacea، به‌صورت درخت یا درختچه در ایران هستند. رویشگاه اصلی این گیاهان نواحی نیمه‌خشک و نیمه استپی مناطق کوهستانی قلمرو ایران وتورانی و به‌خصوص دامنه‌ها و ارتفاعات رشته‌کوه زاگرس، است که از تنوع گونه‌ای قابل‌توجهی هم برخوردارند (۱۲ و ۲۶). در این میان، دو گونه ارزشمند بادام کوهی یا بادامک (*A. scoparia*) و بادام وحشی شرقی یا ارژن (*A. orientalis*) به‌عنوان گونه‌های شاخص، مقاوم به تنش‌های محیطی (مقاوم به سرما و خشکی) و دارای نقش اکولوژیک مهم، جایگاه ویژه‌ای در ساختار و عملکرد این رویشگاه‌ها دارند. رویشگاه‌های طبیعی آن‌ها عمدتاً در مناطقی با بارش سالانه ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر قرار دارد و اگرچه خاک‌های آبرفتی را ترجیح می‌دهند، در اراضی سنگلاخی، شیب‌دار و دامنه‌های کوهستانی نیز توان رشد و پایداری بالایی از خود نشان می‌دهند (۲۳).

اگرچه ناحیه زاگرس به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی تنوع زیستی گیاهی در ایران و حتی در مقیاس جهانی شناخته می‌شود (۱۹ و ۲۹). اما مطالعات جامع بوم‌شناختی در سطح گونه، به‌ویژه برای گونه‌هایی مانند بادام‌های وحشی، همچنان محدود است. این کمبود اطلاعات، شناخت دقیق الگوهای پراکنش، وضعیت حفاظتی، نیازهای اکولوژیک و آستانه‌های تحمل محیطی این گونه‌ها را با ابهام مواجه ساخته است.

در این راستا، مدل‌سازی توزیع گونه‌ها (Species Distribution Modeling; SDM) به‌عنوان یک چارچوب کمی و تحلیلی قدرتمند، امکان بررسی روابط میان پراکنش فعلی گونه‌ها و متغیرهای محیطی را فراهم کرده و زمینه پیش‌بینی مطلوبیت رویشگاه در مقیاس‌های مختلف مکانی را مهیا می‌سازد (۷). در میان روش‌های مختلف SDM، الگوریتم بیشینه آنتروپی (MaxEnt) به‌دلیل دقت بالا، کارایی مناسب و توانایی استفاده از داده‌های حضور- پس‌زمینه، به‌طور گسترده در مطالعات بوم‌شناختی و حفاظتی مورد استفاده قرار گرفته است (۲۸).

هدف اصلی پژوهش حاضر، مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه دو گونه *A. scoparia* و *A. orientalis* در استان لرستان و شناسایی مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی و توپوگرافی مؤثر بر پراکنش آن‌ها است. نتایج این مطالعه می‌تواند ضمن پر کردن بخشی از خلأهای دانشی موجود، مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی، مدیریت پایدار رویشگاه‌های زاگرس و حفظ گونه‌های بومی ارزشمند این منطقه فراهم آورد.

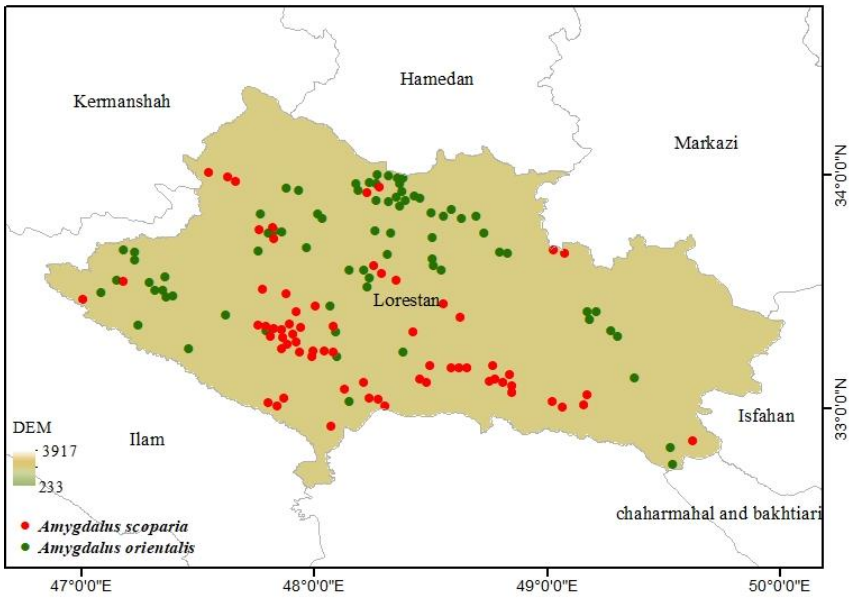
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان لرستان است. این استان با مساحت ۲۸۲۹۴ کیلومترمربع در بخش مرکزی رشته‌کوه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Geographic location of the study area.

زاگرس در غرب ایران، واقع شده است. استان لرستان با وسعت تقریبی ۱/۸ درصد از مساحت کشور، بخشی از ناحیه رویشی زاگرس را تشکیل می‌دهد که به‌عنوان یک کانون مهم تنوع زیستی گیاهی در خاورمیانه شناخته می‌شود (۱۵). از نظر زمین‌ریخت‌شناسی، این منطقه دارای گرادیان ارتفاعی ٦۰۰ تا بیش از ٤۰۰۰ متر است که منجر به شکل‌گیری شرایط اقلیمی و رویشگاهی بسیار متنوعی در سطح استان شده است. اقلیم منطقه از نوع نیمه‌خشک معتدل با زمستان‌های سرد و تابستان‌های خشک است. توزیع بارش به‌شدت تحت تأثیر عامل ارتفاع قرار دارد و میزان آن بین ٤۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال متغیر است که عمدتاً در فصل زمستان و بهار رخ می‌دهد. استان لرستان با دریافت میانگین بارش سالانه ۵۵۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر، یکی از نقاط پربارش در محدوده زاگرس به شمار می‌رود. پوشش گیاهی طبیعی استان در قالب جنگل‌های استپی- جنگلی زاگرس دسته‌بندی می‌شود که گونه‌ی غالب درختی آن بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) است (۲۳).

جنگل‌های زاگرس، ٤۰ درصد از مساحت جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهند، عمدتاً از گونه‌های درختی و درختچه‌ای پهن‌برگ خزان‌کننده با همراهی پوشش علفی تشکیل شده‌اند (۲٦). تغییرات ارتفاعی در سطح استان، الگوی توزیع گونه‌های چوبی را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار داده است، به‌طوری که در ارتفاعات بالاتر جوامع جنگلی متراکم‌تر و در ارتفاعات پایین‌تر، پوشش گیاهی به تدریج به سمت جوامعی با گونه‌های درختچه‌ای و بوته‌ای چوبی تغییر می‌یابد. با وجود ارزش اکولوژیکی بالا، این اکوسیستم‌ها در سراسر استان در معرض فشارهای شدید فعالیت‌های انسانی قرار دارد. مهم‌ترین این عوامل شامل قطع درختان، آتش‌سوزی‌های عمدی، تخریب پوشش زیراشکوب، چرای مفرط دام و استفاده از برگ و سرشاخه درختان به‌عنوان علوفه است. این اختلالات به‌ویژه در ارتفاعات پایین‌تر تشدید شده و منجر به تغییر در ساختار جنگل، ترکیب گونه‌ای و الگوی توزیع ارتفاعی گونه‌ها در مقیاس استان شده است (شکل ۱).

جمع‌آوری و پیش‌پردازش داده‌های حضور گونه‌ها

داده‌های حضور گونه‌های هدف، از نقشه‌های تیپ گیاهی تهیه شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور با

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

جدول ۱. متغیرهای مستقل محیطی مورد استفاده در تحلیل به‌همراه مقادیر تورم واریانس.

Table 1. Environmental predictor variables used in the analysis, along with their variance inflation factor values.

VIF	Unit	Variable description	Variable code	No.
1.75	Unitless (standard deviation × 100)	Temperature Seasonality	Bio04	1
1.71	Degrees Celsius (°C)	Annual Temperature Range	Bio07	2
1.46	Millimeters (mm)	Precipitation of Driest Month	Bio14	3
7.25	Millimeters (mm)	Precipitation of Warmest Quarter	Bio18	4
7.59	Meters (m)	Elevation	DEM	5
1.55	Degrees (°)	Slope	Slope	6
1	Degrees (°)	Aspect	Aspect	7

مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شد. داده‌های حضور هر گونه بر اساس روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی در شبکه پیکسل‌های یک کیلومترمربعی روی نقشه تیپ‌های گیاهی استخراج شد. به‌منظور تصحیح تغییرات پوشش جنگلی و اطمینان از صحت نقاط حضور، بازبینی و تصحیح نقاط ثبت شده گونه‌ها با تصاویر با وضوح بالا سامانه Google Earth Pro انجام شد. به‌منظور ارزیابی خودهمبستگی مکانی از فیلتر مکانی یک کیلومتری با استفاده از بسته spThin در نرم افزار R استفاده شد (۱). در نهایت ٦٧ رخداد حضور برای گونه *A. scoparia* و ٧٤ رخداد حضور برای گونه *A. orientalis* ثبت شد.

متغیرهای محیطی برای مدل‌سازی

به منظور پیش‌بینی مطلوبیت رویشگاه گونه‌های هدف، از ۱۹متغیرزیست اقلیمی و سه متغیر توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب استفاده شد. داده‌های محیطی از پایگاه جهانیWorldClim (https://www.worldclim.org) با وضوح مکانی ۳۰ ثانیه (معادل یک کیلومتر) استخراج شد. به‌منظور اجتناب از مشکلاتی همچون برازش بیش از حد مدل و هم‌خطی بین متغیرها، از ضریب تورم واریانس (Variance Inflation Factor, VIF) بسته usdm در نرم‌افزار R استفاده شد. بدین ترتیب متغیرهای دارای VIFبیش از ۱۰ حذف شدند. تعداد ۷ متغیر محیطی با قدر تفکیک یک کیلومتر به‌عنوان ورودی مدل انتخاب شدند (جدول ۱).

مدل‌سازی و اعتبارسنجی مدل

به‌منظور مدل‌سازی پراکنش دو گونه *A. orientalis* و *A. scoparia* از الگوریتم مکسنت (MaxEnt) در نرم‌افزار MaxEnt نسخه ۳.٤.٤ بهره‌گیری شد. این روش که بر پایه الگوریتم یادگیری ماشین حضور- پس‌زمینه عمل می‌کند، با استفاده از داده‌های حضور گونه و متغیرهای محیطی، پراکنش احتمالی گونه را با فرض بیشینه‌کردن آنتروپی تحت محدودیت‌های محیطی مشاهده‌شده، مدل می‌کند و به‌دلیل عملکرد قوی حتی با داده‌های حضور محدود، به‌طور گسترده‌ای در مطالعات اکولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، برای هر دو گونه، ۱۰۰۰ نقطه پس‌زمینه در نظر گرفته شد. در هر اجرای مدل، ۷۵ درصد از داده‌ها برای آموزش و ۲۵ درصد برای اعتبارسنجی اختصاص یافت. تمامی پارامترهای مدل بر اساس مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار تنظیم شدند و مدل با ۱۰ بار تکرار اجرا شد. ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از دو شاخص مساحت زیر منحنی (Area under curve of ROC Plot) که از خروجی‌های نرم‌افزار مکسنت استخراج و شاخص مهارت واقعی (True Skill Statistic, TSS) که با استفاده از نتایج حاصل از مکسنت و در بسته SDMtune در نرم‌افزار R با در نظر گرفتن آستانه (th=۰/۵۵) محاسبه شد، مورد ارزیابی قرار گرفت.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

جدول ۲. مقادیر قابلیت تشخیص (AUC) و درستی طبقه‌بندی (TSS) بر اساس داده‌های ارزیابی مدل، به‌همراه درصد رویشگاه‌های مطلوب دو گونه بادامک و ارژن در مدل‌سازی.

Table 2. Area under the curve (AUC) and true skill statistic (TSS) values based on model evaluation data, along with the percentage of suitable habitats for the two species, *A. scoparia* and *A. orientalis*.

TSS	AUC	Highly suitable habitat (% of total provincial area)	Species
0.86	0.88	23.5	Amygdalus scoparia
0.86	0.87	22.8	Amygdalus orientalis

نتایج

نقشه‌های پراکنش احتمالی و مطلوبیت رویشگاه دو گونه *A. scoparia* و *A. orientalis* در سطح استان مشخص شد (شکل ۲). الگوی پیش‌بینی شده حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد که بخش‌های جنوبی، جنوب شرقی و مرکز استان دارای مطلوبیت بیشتری برای استقرار گونه *A. scoparia* هستند. این نواحی از نظر شرایط محیطی با ارتفاعات متوسط و شیب‌های ملایم هم‌پوشانی داشته و بخش قابل‌توجهی از عرصه‌های مستعد استقرار این گونه را به خود اختصاص داده‌اند. برای گونه *A. orientalis* نیز مطلوبیت رویشگاهی در مناطق پراکنده‌تری در سطح استان قابل مشاهده است. این گونه دربخش‌های شمالی و مرکزی استان مطلوبیت بالاتری دارد و نسبت به گونه *A. scoparia* الگوی پراکنش آن، پیوستگی کمتری را نشان می‌دهد (شکل ۲). لازم به ذکر است میزان مطلوبیت رویشگاه برای گونه *A. scoparia* برابر با ۲۳/۵ درصد و برای گونه *A. orientalis* برابر با ۲۸/۵ درصد برآورد شد (جدول ۲).

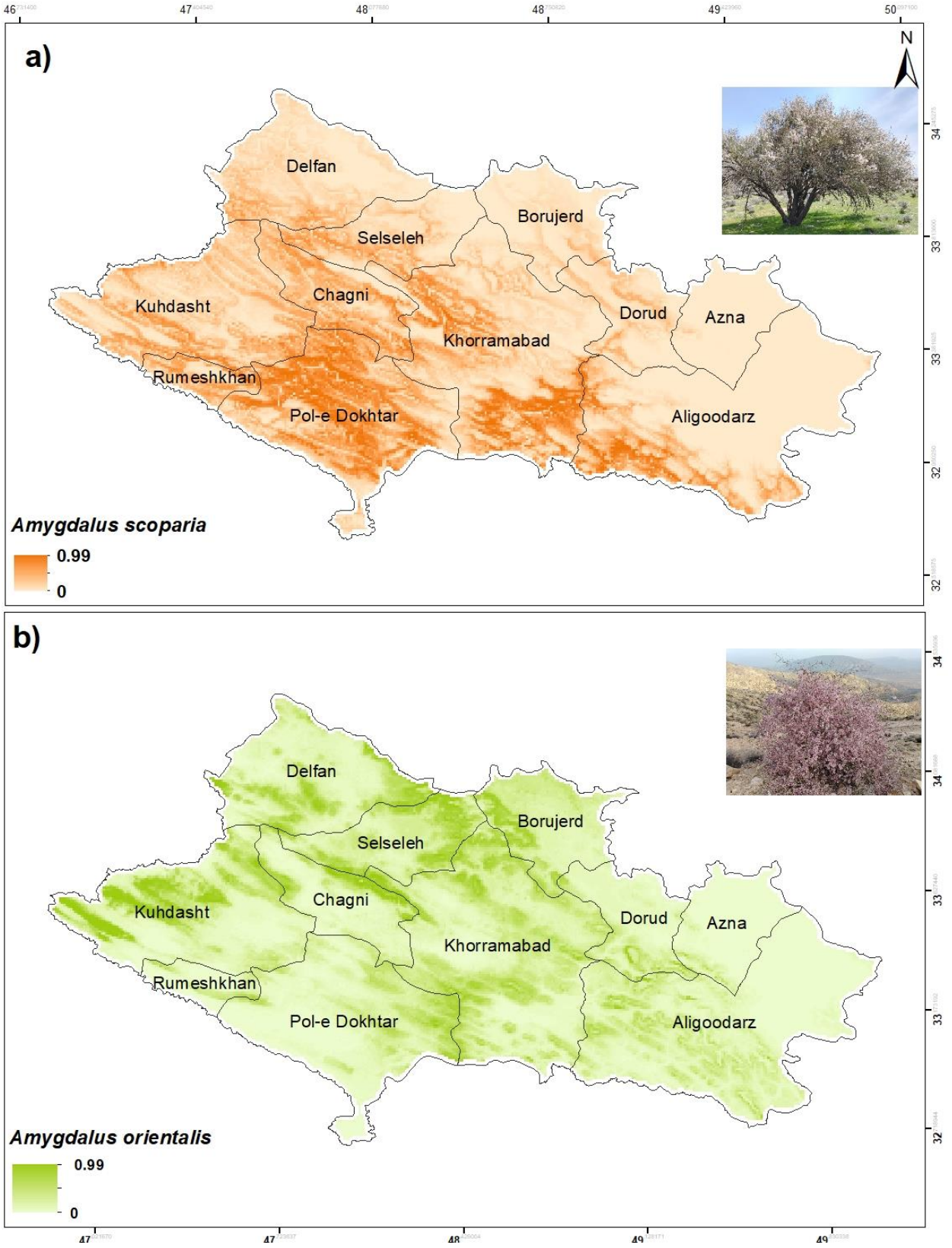
ارزیابی شاخص AUC برای گونه *A. scoparia* برابر ۰/۸۸ و برای *A. orientalis* ۰/۸۷ بیانگر عملکرد خوب مدل در شناسایی رویشگاه‌های مطلوب است (۳). افزون بر این، مقدار TSSبرای هر دو گونه برابر با ۰/۸٦است که نشان‌دهنده کارایی خوب مدل در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌ها می‌باشد (جدول ۲).

بر اساس نتایج نشان‌داده‌شده در شکل ۳، پراکنش دو گونه *A. scoparia* و *A. orientalis* عمدتاً در دامنه‌های جنوبی و جنوب‌غربی منطقه متمرکز است. گونه *A. scoparia* نسبت به *A. orientalis* بیشتر در ارتفاع‌های پایین‌تر حضور دارد. بیشترین تراکم حضور *A. scoparia* در شیب‌های ملایم مشاهده می‌شود، درحالی‌که گونه *A. orientalis* غالباً در شیب‌های تندتر گسترش یافته است. از نظر متغیرهای اقلیمی، گونه *A. scoparia* در مقادیر بالاتر نوسان دمای فصلی (Bio04) تراکم حضور بیشتری نسبت به *A. orientalis* نشان می‌دهد. همچنین بررسی دامنه دمای سالانه (Bio07) بیانگر آن است که بیشترین تراکم حضور *A. scoparia* در مقادیر بالاتر این متغیر رخ می‌دهد. در ارتباط با بارش خشک‌ترین ماه (Bio14)، این گونه در مقادیر بالاتر بارش نیز تراکم بیشتری را نشان می‌دهد. در مقابل، نتایج مربوط به بارش گرم‌ترین فصل سال (Bio18) حاکی از آن است که *A. scoparia* عمدتاً در مقادیر پایین‌تر این متغیر حضور دارد، درحالی‌که *A. orientalis* بیشتر در مقادیر بالاتر Bio18 مشاهده می‌شود.

نتایج تحلیل جک‌نایف برای گونه‌های *A. orientalis* و *A. scoparia* بیانگر آن است که عوامل محیطی نقش متمایزی در تبیین پراکنش و مطلوبیت رویشگاهی این دو گونه دارند. در هر دو گونه، متغیر شیب بیشترین اهمیت را در افزایش دقت مدل نشان داد؛ به‌گونه‌ای که حذف این متغیر بیشترین افت در کارایی مدل را سبب شد. لازم به ذکر است، گونه *A. orientalis*، پس از شیب، متغیرهای دامنه سالانه دما (bio07) و بارش گرم‌ترین فصل (bio18) در رده‌های بعدی از نظر اهمیت قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که *A. orientalis* علاوه بر وابستگی به شرایط توپوگرافی، در برابر تغییرات اقلیم فصلی و پویایی بارش در گرم‌ترین دوره سال نیز واکنش‌پذیر است. در مقابل، متغیرهایی مانند جهت و بارش خشک‌ترین ماه (bio14) کمترین سهم را در کارایی مدل داشته‌اند و حذف آن‌ها تغییر محسوسی در

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

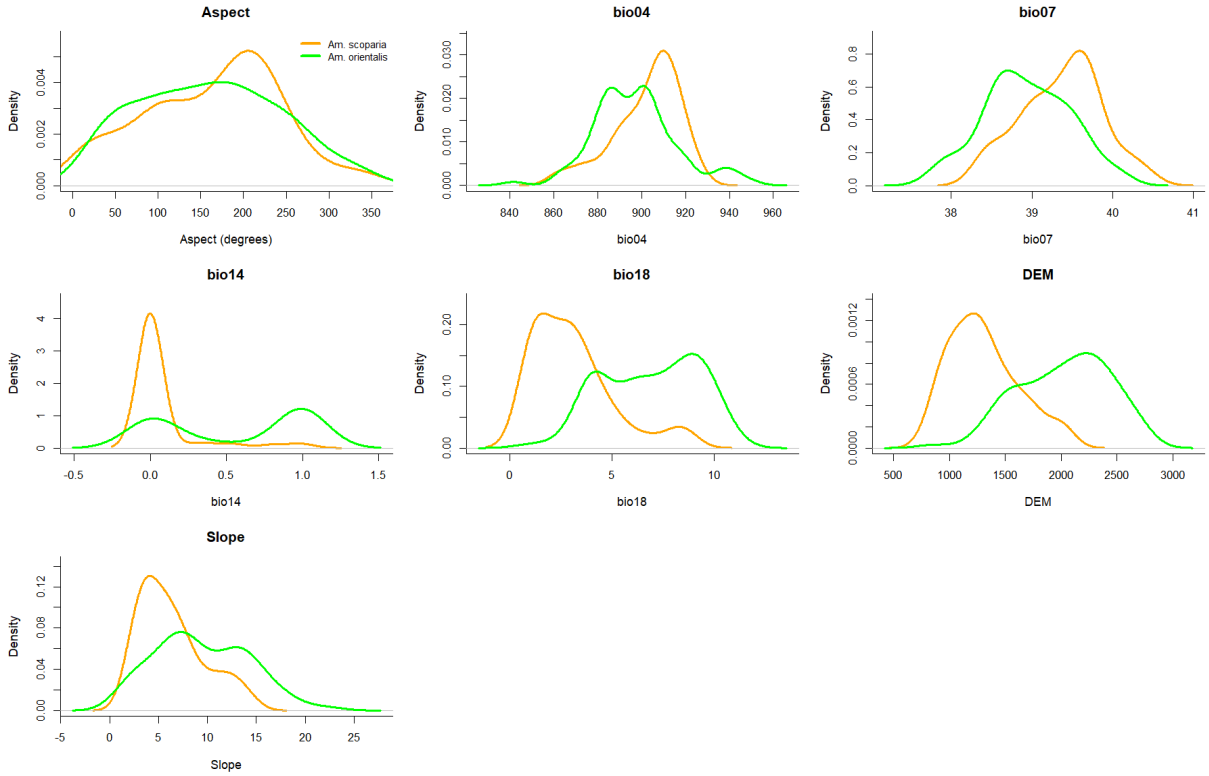


شکل ۲. نقشه مطلوبیت رویشگاه a) بادامک (*A. scoparia*) و b) ارژن (*A. orientalis*) در استان لرستان.

Figure 2. Habitat suitability map of (a) *A. scoparia* and (b) *A. orientalis* in Lorestan Province.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]



شکل ۳. نمودار Density متغیرهای محیطی برای گونه‌های هدف؛ رنگ نارنجی: *A. scoparia* و رنگ سبز: *A. orientalis*.

Figure 3. Density plots of environmental variables for the target species; orange: *A. scoparia* and green: *A. orientalis*.

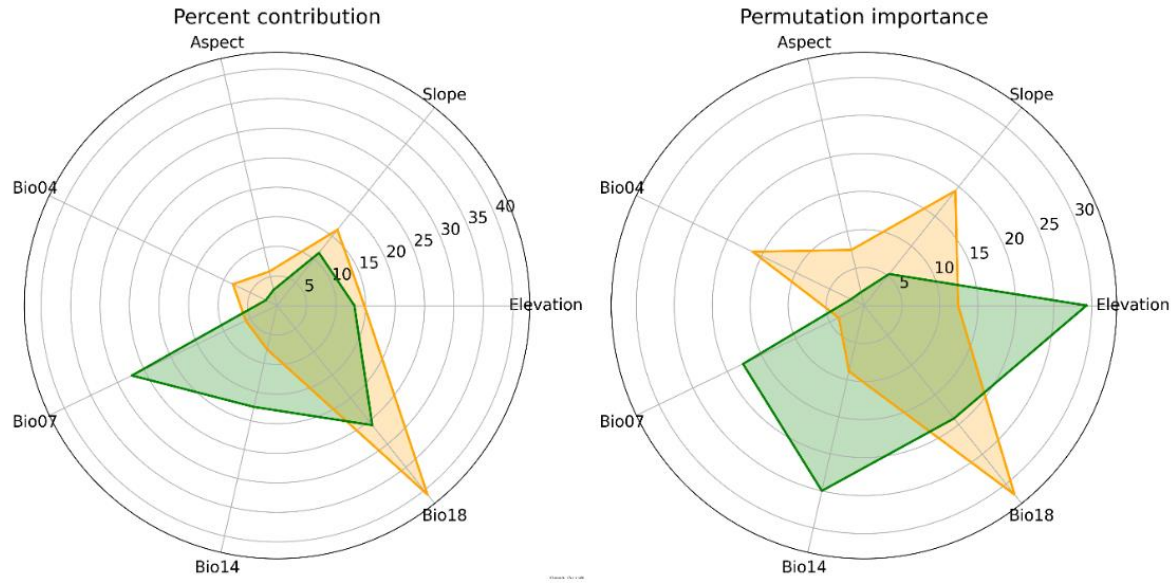
شاخص‌های عملکرد مدل ایجاد نکرده است. در گونه بادامک *A. scoparia*، پس از شیب، متغیرهای ارتفاع و بارش گرم‌ترین فصل (bio18) نقش برجسته‌تری در مقایسه با سایر عوامل داشته‌اند و حضور آن‌ها موجب افزایش چشمگیر توان پیش‌بینی مدل شده است.

برای گونه‌ی *A. scoparia*، متغیرهای بارش گرم‌ترین فصل (bio18) شیب و ارتفاع از سطح دریا در مجموع با ۷۲٪ بیشترین سهم مشارکت را در میان متغیرهای دیگر در مدل داشتند. درحالی‌که برای گونه *A. orientalis* متغیرهای دامنه سالانه دما (bio07)، بارش گرم‌ترین فصل (bio18) و بارش خشک‌ترین ماه (bio14) بیشترین سهم مشارکت را در میان متغیرهای دیگر در مدل داشته که در مجموع ۷۱٪ مشارکت مدل را شامل شدند (شکل ٤).

تحلیل منحنی‌های پاسخ حاصل از مدل MaxEnt برای دو گونه نشان داد که الگوهای پاسخ این دو گونه به متغیرهای اقلیمی و فیزیوگرافی از نظر جهت تغییر و دامنه مقادیر بهینه تفاوت‌های مشخصی دارند (شکل ۵).

در ارتباط با بارش گرم‌ترین فصل سال(bio18) ، گونه *A. scoparia* بیشترین مقدار خروجی مدل را در مقادیر بسیار پایین این متغیر (حدود ۰ تا ۲ میلی‌متر) نشان داد و با افزایش bio18، مقدار خروجی مدل به‌صورت یکنواخت کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در مقادیر بالاتر از حدود ۱۰–۸ میلی‌متر، خروجی مدل به حداقل خود رسید. در مقابل، برای گونه *A. orientalis* مقدار خروجی مدل با افزایش bio18 روند افزایشی داشت و در حدود ۱۱–۹ میلی‌متر به بیشینه رسید و سپس با افزایش بیشتر این متغیر، کاهش ملایمی مشاهده شد. منحنی‌های پاسخ مربوط به بارش خشک‌ترین فصل سال (bio14) نیز تفاوت‌هایی بین دو

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]



شکل ٤. تحلیل مشارکت متغیرها در گونه‌های هدف؛ رنگ نارنجی: *A. scoparia* رنگ سبز: *A. orientalis*

Figure 4. Analysis of variable contributions for the target species; orange: *A. scoparia* and green: *A. orientalis*.

گونه نشان دادند. در *A. scoparia*، مقدار خروجی مدل با افزایش bio14 تا حدود ۸۵–۸۰ میلی‌متر افزایش یافت و پس از آن کاهش شدیدی را نشان داد. در *A. orientalis*، خروجی مدل در مقادیر پایین bio14 (کمتر از حدود ۵۰–۴۵ میلی‌متر) پایین بود و با افزایش این متغیر، مقدار خروجی مدل تا حدود ۷۵–۶۵ میلی‌متر افزایش یافت؛ سپس کاهش نسبی مشاهده شد، اما در مقادیر بالاتر (حدود ۹۰–۸۸ میلی‌متر به بالا) افزایش مجدد خروجی مدل ثبت شد. دامنه دمایی سالانه (bio07) در هر دو گونه اثر کاهشی بر مقدار خروجی مدل داشت، اما دامنه مقادیر بیشینه متفاوت بود. در *A. scoparia*، بیشترین مقدار خروجی مدل در حدود ۴۰–۳۹ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد و با افزایش این متغیر به بیش از حدود ۴۲–۴۱ درجه، خروجی مدل به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. در مقابل، در *A. orientalis* بیشترین مقدار خروجی مدل در مقادیر پایین‌تر bio07 (حدود ۳۸–۳۷.۵ درجه سانتی‌گراد) ثبت شد و با افزایش تدریجی این متغیر، مقدار خروجی مدل به‌صورت یکنواخت کاهش یافت. افزون بر این، منحنی پاسخ متغیر bio04 برای *A. orientalis* الگوی تک‌قله‌ای با بیشینه در مقادیر متوسط نشان داد.

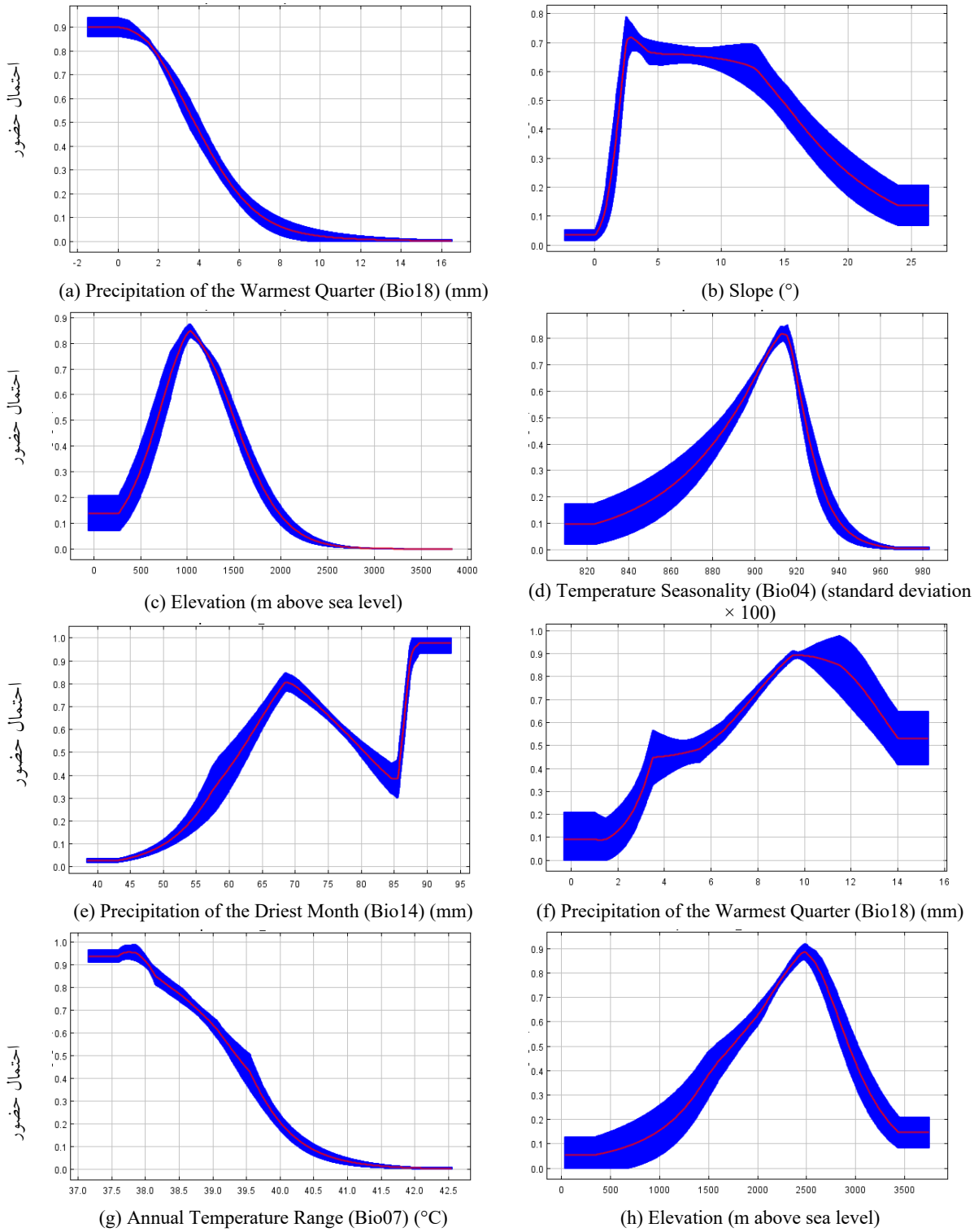
در میان متغیرهای فیزیوگرافی، منحنی‌های پاسخ شیب نشان دادند که در *A. scoparia* بیشترین مقدار خروجی مدل در شیب‌های ملایم، به‌ویژه در حدود ۳ تا ٦ درصد، مشاهده شد و با افزایش شیب به بیش از ۱۲–۱۰ درصد، مقدار خروجی مدل روند کاهشی داشت. در مقابل، در *A. orientalis* مقدار خروجی مدل با افزایش شیب به‌صورت پیوسته افزایش یافت و بیشترین مقادیر در شیب‌های بالاتر از حدود ۲۵–۲۰ درصد مشاهده شد. پاسخ دو گونه به ارتفاع نیز متفاوت بود. منحنی‌های پاسخ نشان دادند که در *A. scoparia* بیشترین مقدار خروجی مدل در ارتفاعات پایین تا میانی ثبت شد و با افزایش ارتفاع، مقدار خروجی مدل کاهش یافت. در مقابل، در *A. orientalis* منحنی پاسخ ارتفاع الگوی تک‌قله‌ای داشت و بیشترین مقدار خروجی مدل در ارتفاعات میانی تا نسبتاً بالا، به‌ویژه در حدود ۲۲۰۰ تا ۲۷۰۰ متر، مشاهده شد؛ درحالی‌که در ارتفاعات پایین‌تر و بسیار بالا مقادیر کمتری ثبت شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مدل‌سازی پراکنش بالقوه دو گونه *A. scoparia* و *A. orientalis* با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]



(a) Precipitation of the Warmest Quarter (Bio18) (mm)

(b) Slope (°)

(c) Elevation (m above sea level)

(d) Temperature Seasonality (Bio04) (standard deviation × 100)

(e) Precipitation of the Driest Month (Bio14) (mm)

(f) Precipitation of the Warmest Quarter (Bio18) (mm)

(g) Annual Temperature Range (Bio07) (°C)

(h) Elevation (m above sea level)

شکل ۵ .منحنی‌های پاسخ مهم‌ترین متغیرهای محیطی برای *A. scoparia* (a–d) و *A. orientalis* (e–h).

Figure 5. Response curves of the most important environmental variables for *A. scoparia* (a–d) and *A. orientalis* (e–h).

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

(MaxEnt) نشان داد که این مدل از توان پیش‌بینی بالایی برخوردار است. مقادیر بالای شاخص‌های ارزیابی (AUC وTSS) صحت و قابلیت اطمینان نتایج را تأیید می‌کند که با یافته‌های مطالعات پیشین در ایران همخوانی دارد (۹ و ۱۰). که بیانگر آن است که مدل MaxEnt ابزار مناسبی برای شناسایی رویشگاه‌های مطلوب این دو گونه در مقیاس منطقه‌ای است. با وجود عملکرد مشابه مدل برای هر دو گونه، الگوهای پراکنش مکانی و ترجیحات زیست‌محیطی آن‌ها تفاوت‌های معناداری را نشان داد.

الگوهای پراکنش مکانی و وسعت رویشگاه مطلوب

بررسی نقشه‌های پراکنش نشان داد که رویشگاه‌های با مطلوبیت بالا برای *A. scoparia* عمدتاً در بخش‌های مرکزی و جنوبی استان لرستان متمرکز بوده و از پیوستگی مکانی بیشتری برخوردارند. این الگو با نتایج مطالعه حیدریان آقاخانی و همکاران (۸) در استان چهارمحال و بختیاری مطابقت دارد که نشان دادند حدود ۹ درصد از مساحت این استان برای گونه بادامک دارای تناسب رویشگاهی زیاد است. در مقابل، *A. orientalis* الگوی پراکنش پراکنده‌تری داشته و کانون‌های مطلوب آن بیشتر در مناطق مرکزی و شمالی استان مشاهده شد. رویشگاه‌های مطلوب *A. scoparia* از انسجام مکانی بالاتری برخوردار بودند. این تفاوت می‌تواند بازتابی از دامنه سازگاری وسیع‌تر این گونه نسبت به گونه *A. orientalis* باشد. طبق گزارش برویکز و زهاری (٤)، ایران مرکز اصلی تنوع و تکامل گونه‌های جنس Amygdalus محسوب می‌شود و گونه‌های مختلف این جنس طیف وسیعی از ارتفاعات را پوشش می‌دهند. این تنوع ارتفاعی می‌تواند توجیه‌کننده تفاوت در الگوی پراکنش مکانی دو گونه مورد مطالعه در استان لرستان باشد.

تحلیل منحنی‌های پاسخ و تفکیک اکولوژیکی گونه‌ها

تحلیل مقایسه‌ای منحنی‌های پاسخ متغیرهای محیطی نشان داد که اگرچه هر دو گونه تحت تأثیر مجموعه‌ای مشابه از عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی قرار دارند، اما دامنه تحمل و جهت واکنش آن‌ها به این متغیرها به‌طور محسوسی متفاوت است. این تفاوت‌ها بیانگر نوعی تمایز اکولوژیکی میان دو گونه است که می‌تواند به کاهش رقابت زیستی در رویشگاه‌های مشترک منجر شود.

در میان متغیرهای اقلیمی، بارش گرم‌ترین فصل سال (Bio18) نقش متضادی در مطلوبیت رویشگاه دو گونه ایفا کرد. *A. scoparia* بیشترین احتمال حضور را در مقادیر بسیار پایین این متغیر نشان داد و با افزایش بارش تابستانه، مطلوبیت رویشگاه آن به‌سرعت کاهش یافت. پیری صحراگرد و همکاران (۲۲) نیز در مطالعه خود در استان فارس گزارش کردند که متغیرهای اقلیمی به‌ویژه همدمایی (Bio3) و بارش خشک‌ترین فصل (Bio17) با توجیه حدود ۳٦ درصد تغییرات پراکنش، مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده حضور *A. scoparia* هستند (۲۲). این یافته مؤید سازگاری بالای این گونه با شرایط بسیار خشک تابستان و تحمل تنش خشکی است. در مقابل، *A. orientalis* پاسخ مثبتی به افزایش Bio18 نشان داد و بیشینه مطلوبیت رویشگاه آن در مقادیر متوسط تا نسبتاً بالای بارش تابستانه مشاهده شد که حاکی از وابستگی بیشتر این گونه به رطوبت فصل گرم سال است.

بارش خشک‌ترین فصل سال (Bio14) نیز الگوهای متفاوتی را آشکار ساخت *A. scoparia* .دامنه بهینه مشخصی از این متغیر را نشان داد و افزایش بیش از حد بارش در فصل خشک موجب کاهش احتمال حضور آن شد، درحالی‌که *A. orientalis* دامنه تحمل وسیع‌تری نسبت به این متغیر از خود نشان داد. این تفاوت می‌تواند بیانگر راهبردهای متفاوت دو گونه در بهره‌برداری از منابع رطوبتی باشد.

در ارتباط با متغیرهای دمایی، دامنه دمای سالانه (Bio07) برای هر دو گونه اثر کاهنده بر مطلوبیت رویشگاه داشت، اما دامنه تحمل آن‌ها متفاوت بود *A. scoparia* .بیشترین مطلوبیت را در مقادیر متوسط Bio07 نشان داد و نسبت به افزایش نوسانات دمایی حساسیت بیشتری از خود بروز داد. در مقابل، *A. orientalis* در مقادیر پایین‌تر دامنه دمایی سالانه حضور بهینه‌تری داشت و با افزایش تدریجی این متغیر، کاهش یکنواختی در مطلوبیت رویشگاه آن مشاهده شد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

نقش عوامل فیزیوگرافی

در میان عوامل فیزیوگرافی، شیب به‌عنوان مهم‌ترین متغیر تعیین‌کننده پراکنش هر دو گونه شناسایی شد (۲۵) *A. scoparia*. بیشترین تراکم حضور را در شیب‌های ملایم نشان داد پژوهشی در استان مرکزی نشان داد که بیشترین تعداد پایه‌های *A. scoparia* در شیب‌های ۲۰-۰ و ۳۵-۲۰ درصد و بیشترین درصد شادابی نیز در شیب‌های ۲۰-۰ درصد مشاهده می‌شود (۲۹). در مقابل، *A. orientalis* تمایل بیشتری به شیب‌های تندتر داشت که احتمالاً با کاهش رقابت زیستی و شرایط زهکشی بهتر مرتبط است. پاسخ دو گونه به متغیر ارتفاع نیز متفاوت بود، به‌گونه‌ای که *A. scoparia* عمدتاً در ارتفاعات پایین‌تر تا میانی استقرار یافته است (مطابق با دامنه ارتفاعی ۱۹۰۰-۴۰۰ متر گزارش‌شده در استان ایلام توسط حسین‌زاده (۱۱) درحالی‌که بیشینه مطلوبیت رویشگاه *A. orientalis* در ارتفاعات میانی تا نسبتاً بالا (۲۵۰۰-۱۳۰۰ متر) متمرکز بوده است.

یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین همخوانی قابل‌توجهی دارد (۱۳، ۱٤، ۱۸، ۲۰، ۲۷ و ۳۰). این مطالعات نشان دادند که پراکنش *A. scoparia* به‌طور معناداری تحت تأثیر متغیرهای دمایی و بارشی، به‌ویژه در فصل خشک، قرار دارد و این گونه عمدتاً در مناطق نیمه‌خشک با بارندگی سالانه ۲۰۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر حضور دارد. همچنین گزارش شده است که دامنه ارتفاعی بهینه این گونه غالباً بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا است (٦ و ۲۲). در مورد *A. orientalis*، نتایج پژوهش‌های پیشین بر اهمیت ارتفاع و شرایط کوهستانی در پراکنش این گونه تأکید دارند. وابستگی بیشتر این گونه به رطوبت فصلی و شرایط اقلیمی خاص‌تر نیز در مطالعات مختلف گزارش شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (۱۱ و ۲۰).

پیامدهای اکولوژیک و مدیریتی

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دامنه سازگاری اکولوژیکی *A. scoparia* در مقایسه با *A. Orientalis* گسترده‌تر است و این گونه توان تحمل بیشتری نسبت به ناهمگونی محیطی از خود نشان می‌دهد. در مقابل، *A. orientalis* گونه‌ای تخصص‌یافته‌تر با وابستگی بیشتر به شرایط رطوبتی و ارتفاعی خاص است. این تفاوت‌ها اهمیت زیادی در مدیریت رویشگاه‌ها، تعیین اولویت‌های حفاظتی و انتخاب گونه مناسب برای برنامه‌های احیای پوشش گیاهی دارد.

استقرار موفق این دو گونه با محدودیت‌های متعددی مواجه است. محدودیت پراکنش بذر ناشی از برداشت بی‌رویه میوه‌ها توسط جوامع محلی و وزن نسبتاً سنگین بذرها و نبود مکانیسم‌های پراکنش طبیعی بذر (مانند باد یا جانوران)، جابه‌جایی بذرها به رویشگاه‌های جدید را با مشکل مواجه ساخته و عمدتاً پراکنش را در محدوده نزدیک به پای درختان مادری محدود کرده است. از سوی دیگر، چرای بی‌رویه دام به‌ویژه در مراحل اولیه رشد، نهال‌های جوان را هدف قرار داده و مانع از استقرار و زادآوری طبیعی آن‌ها می‌شود. تغییرات اقلیمی و کاهش بارش‌های مؤثر نیز فرصت جوانه‌زنی و رشد اولیه را به شدت کاهش داده و بقای این گونه‌ها را با مخاطره روبرو ساخته است.

بر این اساس، پیشنهاد می‌شود *A. Scoparia* به‌عنوان گونه‌ای مناسب برای احیای مناطق نیمه‌خشک، دامنه‌های کم‌شیب و عرصه‌هایی با نوسانات دمایی محدود مورد توجه قرار گیرد. پیری صحراگرد و همکاران (۲۲) تاکید کردند که ترکیب مدل‌های توزیع گونه‌ای در کنار تحلیل سیمای سرزمین، ابزاری کارآمد برای اولویت‌بندی مناطق مستعد احیای اکولوژیک در جنگل‌های تخریب یافته در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. در مقابل، *A. orientalis* گزینه مناسب‌تری برای احیای رویشگاه‌های کوهستانی، شیب‌دار و مناطقی با حداقل رطوبت پایدار در فصل گرم سال است. همچنین، با توجه به حساسیت متفاوت این دو گونه به متغیرهای اقلیمی، پایش تغییرات رویشگاهی آن‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم در مطالعات آتی ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت، تأکید مدل بر نقش کلیدی عوامل توپوگرافی، به‌ویژه شیب، لزوم توجه جدی به ویژگی‌های فیزیوگرافی در

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

برنامه‌ریزی‌های حفاظتی، احیایی و مدیریت پایدار مراتع استان لرستان را برجسته می‌سازد.

تشکر و قدردانی

از راهنمایی‌های دکتر سعید پورمنافی عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان در انجام این مطالعه کمال تشکر و قدردانی را داریم. به علاوه، نویسندگان مراتب قدردانی خود را از جناب آقای دکتر خواجه‌الدین، دکتر سید حمید متین‌خواه، دکتر علیرضا سفیانیان و دکتر حمیدرضا کریم‌زاده به‌عنوان مجریان محترم طرح پژوهشی «تهیه نقشه مناطق جنگلی زاگرس در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با استفاده از عکس‌های هوایی مقیاس ۱:٤۰۰۰۰ در استان لرستان» (دانشگاه صنعتی اصفهان،۱۳۸٦) ابراز می‌دارند. داده‌ها و چارچوب روش‌شناختی ارائه‌شده در آن گزارش، نقش اساسی در استخراج نقاط حضور درختان هدف و انجام تحلیل‌های مکانی این پژوهش داشته است و بدون بهره‌مندی از آن گزارش، انجام این مطالعه میسر نبود.

منابع

1. Aiello-Lammens, M.E., Boria, R.A., Radosavljevic, A., Vilela, B. and Anderson, R.P., 2015. spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models, *Ecography*, 38(5): 541-545.
2. Alvaninejad, S. and Marvi Mohajer, M.R., 2004. The study of effective factors on distribution of wild almond (*Amygdalus scoparia*) in two various areas of Fars Province. Proceedings of the 4th International Iran & Russia Conference, Shahrekord, Iran, 8–10 September 2004, p. 697. (In Persian).
3. Araújo, M.B., Pearson, R.G., Thuiller, W. and Erhard, M., 2005. Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11(9): 1504-1513.
4. Browicz, K. and Zohary, D., 1996. The genus *Amygdalus* L. (Rosaceae): species relationships, distribution and evolution under domestication, *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43(3): 229-247.
5. Chapin, F.S., Matson, P.A. and Mooney, H.A., 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York.
6. Goudarzi, G., 2008. Research Project on Habitat Requirements of Mountain Almond in Markazi Province. Research Institute of Forests and Rangelands. Tehran, Iran. (In Persian).
7. Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3): 147-186.
8. Heydarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M. and Tatian, M., 2020. Predicting the effects of climate change on the potential distribution of *Amygdalus scoparia* using ensemble modeling in Central Zagros. *Journal of Remote Sensing and GIS in Natural Resources*, 8(3): 1-14. (In Persian).
9. Hosseini, N., Ghorbanpour, M. and Mostafavi, H., 2024. The influence of climate change on the future distribution of two Thymus species in Iran: MaxEnt model-based prediction. *BMC Plant Biology*, 24(1): 269.
10. Hosseini, N., Mehrabian, A., Nasab, F.K., Mostafavi, H. and Ghorbanpour, M., 2025. Forecasting climate change effects on the potential distribution of *Zhumeria majdae* as an endangered monotypic endemic species: a MaxEnt modeling approach. *BMC Ecology and Evolution*, 25(1): 85.
11. Hosseinzadeh, J., 2002. Investigation of the effect of some ecological factors on the distribution of different almond species in Ilam Province. *Research and Construction*, 57: 52-59. (In Persian).
12. Irannejad Parizi, M.H., 1994. The survey of distribution of Amygdalus species in Iran and the world. MSc thesis. Tarbiat Modares University. Tehran, Iran. (In Persian).
13. Irannejad Parizi, M.H., 1995. Ecological study of natural almond communities in Kerman Province, Iran. MSc thesis. Tarbiat Modares University. Tehran, Iran (In Persian).
14. Javidfar, A., Rouhi-Moghaddam, E. and Ebrahimi, M., 2017. Some ecological conditions of *Amygdalus scoparia* Spach in Nehbandan, eastern Iran. *Ecopersia*, 5(3): 1817-1825.
15. Jazirehi, M. H. and Ebrahimi Rastaghi, M., 2013. Forestry of Zagros. University of Tehran Press, Tehran. (In Persian).
16. Khatamsaz, M., 1992. Flora of Iran: Rosaceae. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran. (In Persian).
17. Komarov, V. L., 1971. Flora of the USSR. Jerusalem Program for Scientific Translations, Jerusalem.
18. Mozaffarian, V., 2004. Trees and Shrubs of Iran. Tehran University Press, Tehran. (In Persian).

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

19. Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. and Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
20. Najafifar, A. and Jafarian, N., 2023. Investigating ecological range distribution and environmental factors affecting woody species distribution in Zagros forests of Ilam Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 12(4): 57-73. (In Persian).
21. Palo, M. and Uusivuori, J., 1999. World Forests, Society and Environment. Springer, Berlin.
22. Piri Sahragard, H., Ajorlo, M. and Karami, P., 2021. Landscape structure and suitable habitat analysis for effective restoration planning in semi-arid mountain forests. *Ecological Processes*, 10(1): 17.
23. Sabeti, H., 1976. Forests, Trees and Shrubs of Iran. Ministry of Agriculture and Natural Resources, Tehran. (In Persian).
24. Sabeti, H. A. 1994. The Trees and Shrubs of Iran. Yazd University Press, Yazd. (In Persian).
25. Saghari, M., Rostampour, M. and Mohammadi, M.A. 2019. Effect of topography on vegetative and propagation characteristics of *Amygdalus scoparia* in South Khorasan rangeland ecosystems. *Physical Ecology Conference (PEC)*, 7(15): 197-215.
26. Sagheb-Talebi, K., Pourhashemi, M. and Sajedi, T., 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Springer, Berlin/Heidelberg.
27. Tavakoli Neko, T., Pourmeydani, A., Adnani, S. and Sagheb-Talebi, K., 2011. Impact of some important ecological factors on the presence of mountain almond (*Amygdalus scoparia* Spach.) in Qom Province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(4): 523-546. (In Persian).
28. Valavi, R., Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J.J. and Elith, J., 2022. Predictive performance of presence-only species distribution models: a benchmark study with reproducible code. *Ecological Monographs*, 92(1): e01486.
29. Zachos, F.E. and Habel, J.C., 2011. Biodiversity hotspots: Distribution and protection of conservation priority areas. Springer, Berlin.
30. Zeraatkar, A. and Khajoei Nasab, F., 2024. Mapping habitat suitability of endemic and sub-endemic almond species in Iran under current and future climate conditions. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6): 14859-14876.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

Modeling the Potential Distribution of Two *Amygdalus* Tree Species in Lorestan Province, Iran

Zahra Niknaddaf[*1], Seyed Hamid Matinkhah[2] and Saeed Behzadi[3]

(Received: January 13-2026; Accepted: June 26-2026)

Abstract

Understanding plant species distribution patterns and the environmental factors influencing them is essential for conserving and sustainably managing natural ecosystems. This study aimed to model habitat suitability and identify environmental factors influencing the distribution of *Amygdalus scoparia* and *Amygdalus orientalis* in Lorestan Province, Iran. Potential habitat suitability was modeled using the MaxEnt algorithm and environmental variables. The results showed that 23.5% and 28.5% of the province were highly suitable for *A. scoparia* and *A. orientalis*, respectively. Suitable habitats for *A. scoparia* were concentrated in the southern, southeastern, and central parts of the province, particularly at moderate elevations and on gentle slopes, whereas those for *A. orientalis* were more widely distributed across the northern and central parts, mainly at intermediate to relatively high elevations. AUC values were 0.88 for *A. scoparia* and 0.87 for *A. orientalis*, while the TSS value was 0.86 for both species, indicating satisfactory model performance. Although topographic variables were important for both species, other environmental factors differed in their contributions. *A. orientalis* exhibited a narrower ecological range. These findings provide a scientific basis for species-specific conservation planning in Lorestan Province.

Keywords: Wild almond, Arjen (*Amygdalus*), Habitat suitability modeling, Conservation, Forest.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: â€Ž10.47176/ijae.15.1.14843]

1. PhD Student, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. PhD Student, Department of Range Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
* Corresponding Author, Email: zahraniknadaf@na.iut.ac.ir