**Gonbad Kavous University**
**Journal of Plant**
**Ecosystem Conservation**
**Volume 14, Issu 28**
**http://pec.gonbad.ac.ir**

# Evaluation of suitable habitats for the medicinal species *Ferula gummosa* in the Taleghan watershed using maximum entropy Method and geostatistical analysis

**Mojtaba Akhavan Armaki[1*], Melika Hashemi[2], Ahmad Reza Kolanipour[2]**

[1]Ph.D. of Range Management, Natural Resources and Watershed Management Organization Tehran, Iran.
[2]Ph.D. of Range Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Tehran, Iran.

Received: 2025/10/30; Accepted: 2026/02/22

## Abstract

This study was conducted during 2019–2021 in the middle Taleghan watershed, Alborz Province, to model the potential habitat of the medicinal species Barijeh (*Ferula gummosa*) and identify the most important environmental factors affecting its distribution using the maximum entropy (MaxEnt) model. Species-presence data were obtained through field surveys and vegetation sampling in 240 plots. Environmental variables, including elevation, slope, aspect, electrical conductivity (EC), organic matter, soil clay percentage, lime content, and gravel content, were derived from soil sampling and topographic maps. Continuous maps of soil variables were generated using geostatistical kriging in ArcGIS and converted to ASCII format for use in the MaxEnt model. The results showed that the model achieved high predictive accuracy, with an AUC of 0.844 and a kappa coefficient of 0.87. Based on the Jackknife test, elevation, slope aspect, organic matter, and soil clay percentage exerted the greatest influence on the probability of species occurrence. Species-response curves showed that Barijeh exhibited optimal growth primarily at intermediate elevations, on south-facing slopes, and in moderately heavy-textured soils containing 20–25% clay and 1–2% organic matter. In contrast, increasing salinity (EC > 0.5 dS $m^{-1}$) reduced the probability of species occurrence. The final habitat-suitability map showed that approximately 28% of the study area was suitable for the establishment of Barijeh, with the southern and southwestern parts of Taleghan exhibiting the highest habitat potential. In addition to confirming the effectiveness of the MaxEnt model for predicting suitable habitats for medicinal plants, the findings provide a valuable scientific basis for restoring natural habitats, developing semi-industrial cultivation, and sustainably managing natural-resource utilization in the region.

***Keywords*:** Maxent model, Potential habitat, Taleghan, Ecological modeling

*Corresponding author: mtakhavan@ut.ac.ir



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره چهاردهم، شماره بیست و هشتم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

# ارزیابی رویشگاه‌های مناسب گونه دارویی باریجه (*Ferula gummosa* Boiss) در حوزه آبخیز طالقان با روش حداکثر آنتروپی و تحلیل زمین‌آماری

مجتبی اخوان ارمکی*[۱]، ملیکا هاشمی[۲]، پیمان بشیرزاد[۲]

[۱] دانش‌آموخته علوم مرتع، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور
[۲] دانش‌آموخته علوم مرتع، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۵

**چکیده**

**این پژوهش در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در حوزه آبخیز میانی طالقان (استان البرز) با هدف مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه دارویی باریجه (*F.gummosa*)و تعیین مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش آن، با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) انجام گرفت. داده‌های حضور گونه از طریق بازدیدهای میدانی و برداشت پوشش گیاهی در ۲۴۰ پلات نمونه‌برداری به‌دست آمد و داده‌های محیطی شامل متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت جغرافیایی، هدایت الکتریکی، ماده آلی، درصد رس خاک، آهک و سنگریزه از نمونه‌برداری خاک و نقشه‌های توپوگرافی استخراج شد. نقشه‌های پیوسته متغیرهای خاکی با روش زمین‌آمار (کریجینگ) در محیط ArcGIS تولید و به فرمت ASCIIبرای مدل Maxent آماده شدند. نتایج نشان داد که این مدل دارای دقت بسیار بالا با شاخص AUC برابر ۰/۸۴۴ و ضریب کاپا ۰/۸۷ است. بر اساس آزمون جک‌نایف، متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، ماده آلی و درصد رس خاک بیشترین تأثیر را بر احتمال حضور این گونه داشتند. منحنی‌های پاسخ حضور گونه نشان دادند که باریجه عمدتاً در ارتفاعات میانی، شیب‌های جنوبی، خاک‌های نیمه‌سنگین با رس ۲۰ تا ۲۵ درصد و ماده آلی ۱ تا ۲ درصد رشد مطلوبی دارد، در حالی که افزایش شوری (EC > 0.5 dS/m) احتمال حضور گونه را کاهش می‌دهد. نقشه نهایی پیش‌بینی رویشگاه نشان داد که حدود ۲۸ درصد از سطح منطقه برای استقرار باریجه مناسب است و بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی طالقان دارای بیشترین پتانسیل زیستگاهی می‌باشند. نتایج این پژوهش ضمن تأیید کارایی مدل Maxent در پیش‌بینی زیستگاه‌های دارویی، مبنای علمی ارزشمندی برای احیای رویشگاه‌های طبیعی، توسعه کشت نیمه‌صنعتی و مدیریت پایدار بهره‌برداری از منابع طبیعی منطقه فراهم می‌سازد.**

***واژه‌های کلیدی:*** **مدلMaxent ، زیستگاه بالقوه، طالقان، مدل‌سازی اکولوژیک**

## مقدمه

در سال‌های اخیر تعیین وضعیت پراکنش و توزیع گونه-های گیاهی و وضعیت رویشگاه‌های تحت اشغال آنها از اهمیت به‌سزایی در برنامه‌های حفاظتی و مدیریت گونه‌ها برخوردار شده است (Pearson, 2007). بدین منظور مدل-های پراکنش گونه‌ها به طور فزاینده‌ای در محیط زیست استفاده شده است (Graham et al., 2004; Peterson et al., 2021). مدل‌های زیادی هم اکنون برای بررسی روابط میان گونه و رویشگاه به‌کار می‌روند. این مدل‌ها معمولا وابسته به نقاط حضور و عدم حضور گونه و متغیرهای رویشگاهی هستند که تداعی کننده عناصر تشکیل دهنده آشیان بوم‌شناختی آن گونه می‌باشد. در صورتی که هم داده‌های حضور و هم داده‌های عدم حضور برای ساخت مدل‌ها در دسترس باشند روش‌های رگرسیونی از معروفترین روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها هستند (Downie et al., 2013; Negga, 2022) در حالی‌که در بیشتر پژوهش‌ها اطلاعات در دسترس، بیشتر داده‌های مربوط به حضور گونه‌ها هستند. به همین دلیل،

*نویسنده مسئول: mtakhavan@ut.ac.ir



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]

روش‌های مدل‌سازی که فقط به داده‌های حضور گونه‌ها نیاز دارند، از اهمیت بیشتری برخوردارند (Graham et al., 2004). درک توزیع مکانی گونه‌های گیاهی برای حفاظت مؤثر، مدیریت مراتع و گونه‌های دارویی آن، و پیش‌بینی پاسخ‌ها به تغییرات محیطی حیاتی است (Araújo et al., 2023). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDMs) به ابزارهای ضروری برای نقشه‌برداری از زیستگاه‌های بالقوه و شناسایی عوامل محیطی کلیدی مؤثر بر حضور گونه‌ها تبدیل شده‌اند (Zurell et al., 2020). در میان روش‌های مختلف مدل‌سازی توزیع گونه‌ها، مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) به دلیل عملکرد قوی با داده‌های فقط حضور و توانایی مدیریت روابط اکولوژیکی پیچیده، برجسته شده است (Elith et al., 2021; Valavi et al., 2022). مدل ماکسنت از متغیرهای محیطی مانند توپوگرافی، اقلیم، و ویژگی‌های خاک برای پیش‌بینی زیستگاه‌های مناسب استفاده می‌کند، که این امر آن را به‌ویژه برای گونه‌های مرتعی مانند *F.gummosa* ، یک گونه دارویی کلیدی در کشور ایران، مناسب می‌سازد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۲). Maxent یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست که از روش‌های فقط حضور برای مدل‌سازی توزیع گونه‌ها به حساب می‌آید. این روش برای برآورد مجموعه‌ای از توابع که مربوط به متغیرهای محیطی و تناسب رویشگاه هستند از اصل حداکثر آنتروپی بر روی داده‌های حضور گونه‌ها و پراکنش بالقوه جغرافیایی استفاده می‌کند (Downie et al., 2013). نکته قابل توجه این است که این روش در اغلب پژوهش‌ها با تعداد داده‌های حضور کم نیز پیش‌بینی‌هایی با دقت بالا ارائه کرده است (Kumar and Stohlgren, 2009). محققان با مقایسه عملکرد دو روش رگرسیون لوجستیک و Maxent به این نتیجه رسیدند که Maxent عملکرد بهتری از رگرسیون لوجستیک دارد (Gaston et al., 2023). در پژوهشی نیز پراکنش گونه‌های *Lonicera japonica*، *Lolium arundinaceum* و *Albizia julibrissin* با استفاده از روش Maxent در مناطق کوهستانی آلاباما مدل‌سازی شد و با توجه به مقادیر AUC حاصل (۰/۸۴ تا ۰/۹۲) برای گونه‌های مورد بررسی معلوم شد که این روش با دقت مناسبی پراکنش هر سه گونه را پیش‌بینی کرده است (Lemke et al., 2011). در تحقیقی دیگر از روش Maxent برای پیش‌بینی پراکنش ۵ گونه گیاهی بالقوه مهاجم (*Canada thistle, Carduus nutans, Russian olive, Phragmites australis,*) در نبراسکا استفاده شد نتایج بر اساس میزان سطح زیر منحنی به دست آمده برای گونه‌های مورد بررسی نشان داد که روش Maxent، روشی دقیق در پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مورد مطالعه است (کیا و همکاران، ۱۳۹۰). پژوهشگران پراکنش دو گونه *Artemisia sieberi* و*Artemisi aucheri* در جوامع گیاهی پشت کوه یزد را با استفاده از مدل Maxent مدل-سازی کردند. نتایج نشان دهنده بالاتر بودن دقت مدل برای پیش‌بینی رویشگاه *A.aucheri* نسبت به *A.sieberi* بوده است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۲). گیاهان دارویی در کشور، به شدت به عوامل محیطی مانند بافت خاک، ارتفاع، و بارندگی حساس هستند، که به‌طور قابل‌توجهی بر ترکیب جوامع گیاهی تأثیر می‌گذارند (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعات پیشین نقش عوامل توپوگرافی و خاکی را در شکل‌دهی به توزیع گونه‌های دارویی برجسته کرده‌اند، به‌طوری‌که محتوای ماسه و غلظت آهک اغلب به‌عنوان عوامل محدودکننده عمل می‌کنند (Zhang et al., 2022). علاوه بر این، تغییرات اقلیمی مناسب بودن زیستگاه برای بسیاری از گونه‌ها را تغییر می‌دهد و نیاز به مدل‌های به‌روز برای پیش‌بینی توزیع‌های آینده را ضروری می‌سازد (Radosavljevic and Anderson, 2024). اخیراً، مطالعات جدید با استفاده از مدل Maxent بهینه‌سازی‌شده نشان داده‌اند که این روش در پیش‌بینی دقیق زیستگاه گیاهان دارویی تحت سناریوهای تغییرات اقلیمی بسیار کارآمد است، (Liu et al., 2025; Hou *et al*., 2025) باریجه (*F.gummosa*) از جمله گیاهان مهم و ارزشمند تیره چتریان (Apiaceae) است که در اکوسیستم‌های کوهستانی و نیمه‌خشک ایران می‌رویند و به واسطه خواص دارویی، صنعتی و خوراکی مورد توجه ویژه محققان و بهره‌برداران منابع طبیعی قرار دارند. باریجه گیاهی چندساله، پایا و معطر است که از ساقه و ریشه آن صمغی با ارزش به نام «گالبانوم» استخراج می‌شود. این صمغ حاوی ترکیباتی از جمله مونوترپن‌ها، سزکویی‌ترپن‌ها و رزین است که در صنایع دارویی، عطرسازی و ساخت داروهای ضدالتهاب و ضدتشنج کاربرد دارد. علاوه بر این، باریجه از دیدگاه پوشش گیاهی و حفاظت خاک نیز اهمیت بالایی دارد و در تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش در زیست‌بوم‌های خشک و نیمه‌خشک نقش مؤثری ایفا



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]

می‌کند. اهداف اصلی این پژوهش تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه باریجه (*F.gummosa*) با استفاده از مدل Maxent، یافتن عوامل مهم تأثیرگذار در استقرار و توزیع این گونه و گرایش ترجیحی گونه مورد نظر نسبت به عوامل محیطی است.

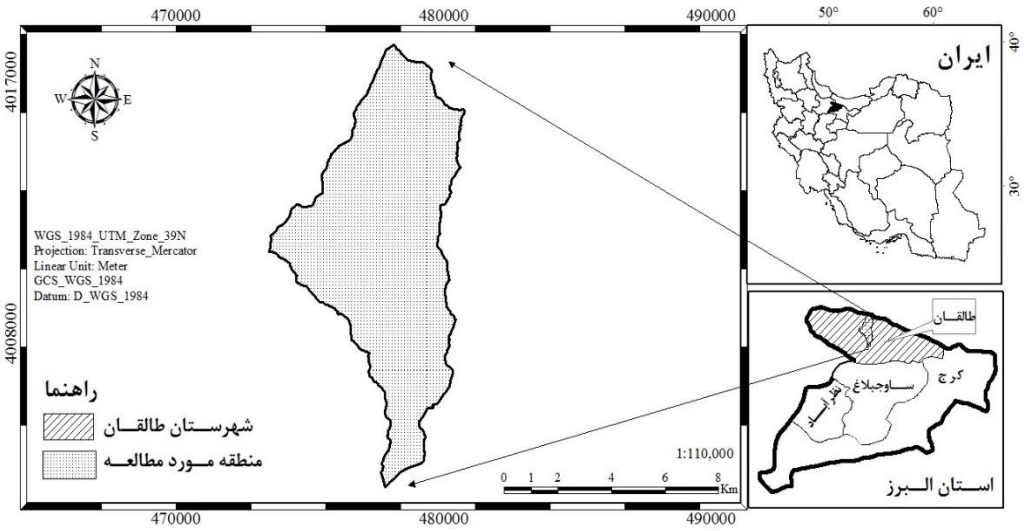
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوزه آبخیز طالقان (شمال غربی استان البرز) در بخش میانی حوزه با وسعت ۵۴۶۰/۶۵ هکتار و با موقعیت جغرافیایی"۲۸'۴۵°۵۰" تا "۸۷'۴۸°۵۰" طول شرقی و "۱۷'۱۵°۳۶" تا "۷'۱۰°۳۶" عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریا ۴۰۰۰ متر و حداقل آن ۱۸۰۰ متر است. بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های طالقان در یک دوره ۳۰ ساله، متوسط بارندگی ۵۸۰ میلی‌متر در سال است و اقلیم آن بر اساس روش آمبرژه نیمه‌مرطوب سرد است (پیری صحراگرد و همکاران، ۱۳۹۰). در منطقه مورد مطالعه، بر اساس نقشه پوشش گیاهی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نمونه‌برداری‌های میدانی، شش تیپ مرتعی اصلی شناسایی شد. رویشگاه‌های گونه باریجه (*F.gummosa*) عمدتاً در تیپ‌های مرتعی "درمنه-باریجه" و جوامع گیاهی کوهستانی با غلبه گونه‌های چتری و مرتعی قرار داشتند. گونه‌های همراه غالب شامل *Artemisia aucheri*، *Thymus kotschyanus*، *Astragalus* spp.، *Acantholimon* spp.، *Poa bulbosa*، *Bromus tomentellus* و *Stipa barbata* بودند که نشان‌دهنده جوامع گیاهی نیمه‌خشک کوهستانی با پوشش متوسط و خاک‌های لومی-رسی است. به منظور بررسی تاثیر عوامل محیطی بر پراکنش پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، نقشه پوشش گیاهی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شد. بر این اساس در محدوده منطقهٔ مطالعاتی ۶ تیپ رویشی تشخیص داده شد. برای نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در هر تیپ رویشی، ۴ ترانسکت ۱۰۰ متری مستقر و در هر ترانسکت ۱۰ پلات با فواصل ۱۰ متر از هم مستقر شد. اندازهٔ پلات‌ها با توجه به روش حداقل سطح و تعداد آن‌ها با روش آماری تعیین شد. در ابتدا و انتهای هر ترانسکت یک پروفیل خاک حفر و تا عمق موثر ریشه دوانی گیاهان، نمونه خاک برداشت شد (در هرتیپ ۸ نمونه خاک برداشت شد). موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری نیز بوسیله سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) ثبت شد و با رویهم‌گذاری نقشه نقطه‌ای این نقاط و نقشه‌های شیب و جهت و ارتفاع با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، داده‌های فیزیوگرافی مربوط به نقاط نمونه-برداری نیز به دست آمد. در آزمایشگاه نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و بعد از آن بر روی ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر آزمایش فیزیکی تعیین ذرات نسبی خاک شامل رس، سیلت و ماسه به روش هیدرومتری بایکاس برای تعیین بافت خاک انجام شد. در بررسی‌های تجزیه شیمیایی خاک، اسیدیته خاک در گل اشباع با pH متر، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلاک، آهک به روش کلسیمتری و هدایت‌الکتریکی در عصاره گل اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی اندازه گیری شد. برای ارائه نقشهٔ پیش‌بینی رویشگاه لازم است که نقشه هر یک از عوامل مذکور تهیه شود. نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع با استفاده از نقشه DEM منطقه تهیه شد. برای توصیف تغییرات مکانی هر ویژگی خاک و تهیه نقشه هر متغیر خاک از روش-های زمین‌آمار استفاده شد. در این تحقیق برای بررسی و تشریح ارتباط و ساختار فضایی از تجزیه و تحلیل «تغییر نما یا واریوگرام» در نرم‌افزار $GS^+$ نسخه 9 استفاده شد. تغییر نماها تغییرات فاصله‌ای یا تغییرپذیری ساختاری متغیرها را نشان می‌دهند (Downie et al., 2013). بعد از تعیین اجزای تغییرنما برای هر یک از خصوصیات خاک با استفاده از نقشه نقاط در نرم‌افزار Arc GIS نسخه 9.3، از طریق روش درون‌یابی کریجینگ نقشهٔ خصوصیات خاک مورد نظر تهیه شد. بعد از تکمیل اطلاعات با توجه به هدف تحقیق برای مدل‌سازی رویشگاه بالقوهٔ گونه مورد بررسی از روش Maxent استفاده شد.



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]




**شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه دراستان البرز و کشور**

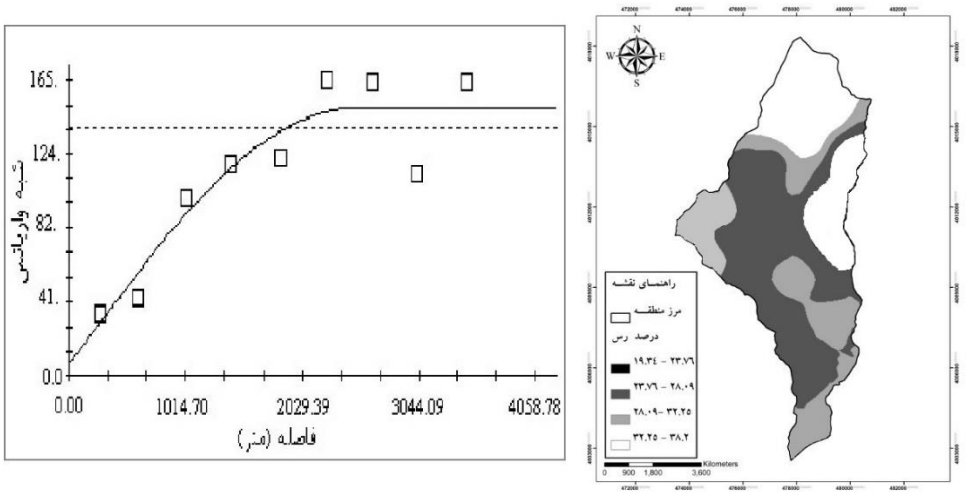
در این بخش داده‌های حضور گونه و همچنین لایه‌های محیطی وارد نرم‌افزار MAXENT شدند. دو گزینه ساخت منحنی‌های پاسخ گونه به ویژگی‌های محیطی و آزمون جک نایف جهت تعیین متغیرهای تأثیرگذار نیز انتخاب شدند. نقشه پیش‌بینی ساخته شده توسط MAXENT یک نقشه احتمالی پیوسته است. بنابراین برای تعیین حضور یا عدم حضور گونه‌های مورد نظر، باید آستانه بهینه حضور مشخص شود (Negga, 2022) بدین منظور آستانه بهینه به روش حساسیت و اختصاصیت برابر تعیین و نقشه‌های پیوسته پیش‌بینی به نقشه‌های حضور و عدم حضور گونه‌ها، تبدیل شدند. برای ارزیابی میزان تطابق مدل‌های پیش‌بینی با واقعیت زمینی تیپ‌های گیاهی از شاخص کاپا در نرم‌افزار Idrisi Tiga نسخه ۱۶ استفاده شده است. از این شاخص در اغلب پژوهش‌های مدل‌سازی پیش‌بینی گونه‌های گیاهی از قبیل Miller و Franklin و Miller برای ارزیابی اعتبار مدل استفاده شده است. همچنین در خروجی نرم‌افزار Maxent مقدار AUC نیز که از روش‌های ارزیابی مدل-های پیش‌بینی است ارائه می‌شود.

## نتایج

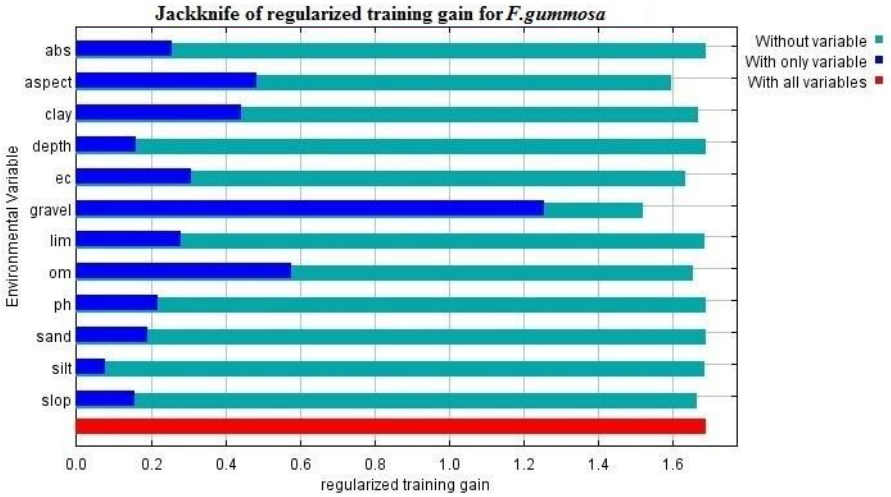
شکل (۲) مدل تغییرنمای خط برازش داده شده به مدل تغییرنمای تجربی متغیر رس و نقشه درصد رس خاک را در منطقه نمونه‌برداری نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود درصد رس در قسمت بالادست منطقه و قسمتی که گونه *F.gummosa* در آن حضور دارد بیشتر از قسمت‌های پایین دست می‌باشد.

شکل (۳) اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در حضور گونه *F.gummosa* توسط آزمون جک‌نایف را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج آزمون جک‌نایف مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در حضور گونه *F.gummosa* در منطقه عوامل توپوگرافی جهت و ارتفاع و از بین متغیرهای خاکی سنگریزه، ماده آلی و رس خاک هستند. این نشان می‌دهد که خصوصیات توپوگرافی منطقه و بافت خاک تأثیر بسزایی در حضور و پراکنش گونه *F.gummosa* دارند و متغیرهای محیطی دیگر هنگامی که به صورت جداگانه در عملیات جک‌نایف اجرا می‌شوند تأثیر کمتری دارند. محققان روش جک‌نایف را به عنوان یک روش ارزیابی با دقت عالی بیان کرده‌اند.

[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]



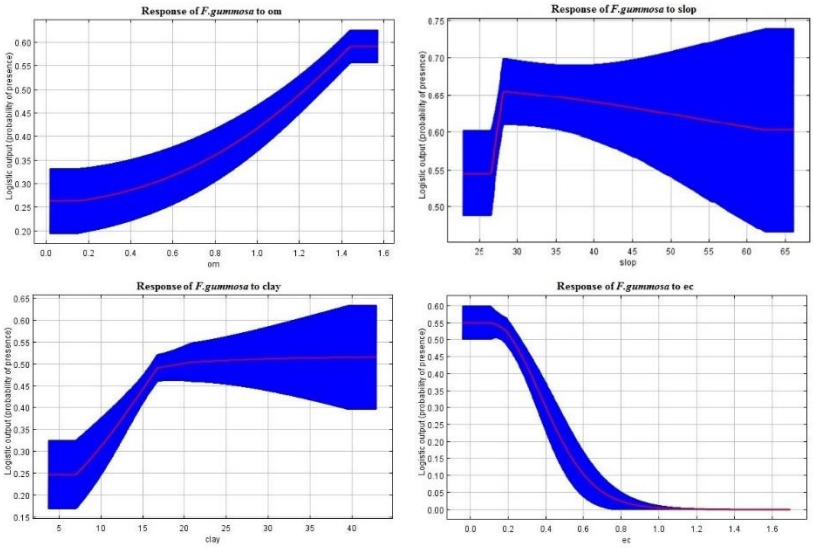

**شکل ۲- مدل تغییرنمای خط برازش داده شده بر مدل تغییرنمای تجربی برای متغیر رس و نقشه رس خاک منطقه**




**شکل ۳- اهمیت متغیرهای تأثیرگذار در حضور گونه *Ferula gummosa* توسط آزمون جک‌نایف**

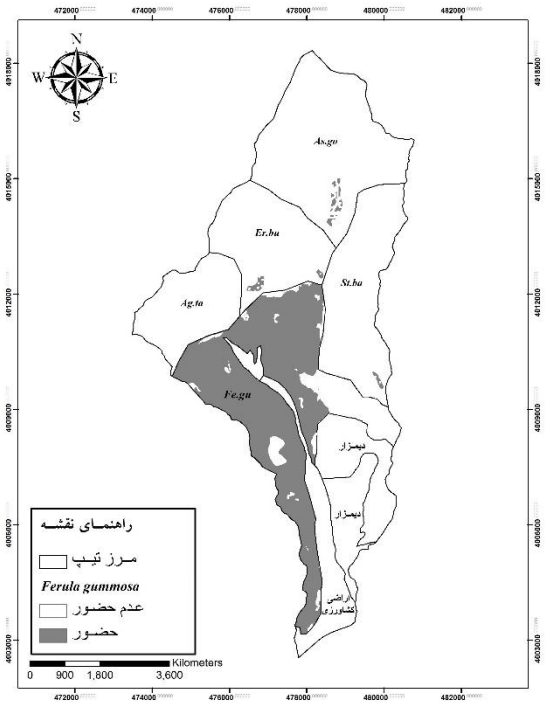
منحنی‌های پاسخ گونه‌ها به متغیرهای محیطی نشان می‌دهند که چگونه هر یک از متغیرهای محیطی پیش‌بینی-های مدل Maxent را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به عنوان نمونه مهم‌ترین منحنی‌های پاسخ حضور گونه *F.gummosa* نسبت به متغیرهای محیطی در شکل (۴) نشان داده شده است. سایهٔ اطراف منحنی‌های پاسخ دامنه تغییرپذیری درصد احتمال حضور گونه‌ها را نشان می‌دهند. تحلیل منحنی‌های پاسخ مربوط به متغیرهای محیطی حاکی از آن است که احتمال حضور گونه *F.gummosa* با افزایش ماده آلی افزایش می‌یابد، همچنین با افزایش تدریجی رس خاک احتمال حضور گونه مذکور افزایش می‌یابد. در مورد متغیر شیب نیز با توجه به منحنی پاسخ گونه *F.gummosa* برای این متغیر، در شیب های ۲۵ تا ۳۰ درصد بیشترین تراکم و حضور را دارد احتمال حضور گونه ۷۰ درصد است و با افزایش تدریجی شیب تا ۶۰ درصد احتمال حضور گونه کمتر شده و پراکنده‌تر نیز می شود. این در حالی است که افزایش هدایت الکتریکی خاک باعث کاهش احتمال حضور گونه مذکور می‌شود.

[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]




**شکل ۴- مهمترین منحنی‌های پاسخ حضور گونه *Ferula gummosa* نسبت به متغیرهای محیطی**

شکل ۵، نقشهٔ پیش‌بینی رویشگاه گونه *F.gummosa* بدست آمده از مدل Maxent را نشان می‌دهد. همانطور که بیان شد نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل Maxent یک نقشه احتمالاتی پیوسته است و برای تعیین حضور یا عدم حضور گونه‌های هدف باید یک مقدار آستانه بهینه برای حضور تنظیم شود. جدول۱، مقادیر آستانه بهینه حضور و میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی به دست آمده از مدل Maxent را با واقعیت زمینی در رویشگاه گونه مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده از ارزیابی صحت با ضریب کاپا نقشهٔ پیش‌بینی حاصل برای رویشگاه گونه گیاهی *F.gummosa*، دارای توافق عالی با نقشه‌های واقعیت زمینی این گونه در منطقه مورد مطالعه است.




**شکل ۵- نقشهٔ‌پیش‌بینی رویشگاه *Ferulagummosa***

**جدول ۱- آستانهٔ بهینه حضور و میزان تطابق نقشه پیش بینی گونه *Ferula gummosa* با واقعیت زمینی**

| گونه | آستانه بهینه حضور | ضریب کاپا | میزان توافق با واقعیت زمینی |
|---|---|---|---|
| *Ferula gummosa* | ۰/۲ | ۰/۸۷ | عالی |



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]

**جدول ۲- سطح زیرمنحنی و دقت طبقه‌بندی نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه *Ferula gummosa***

| رویشگاه | سطح زیر منحنی AUC | دقت طبقه‌بندی |
|---|---|---|
| *Ferula gummosa* | ۰/۸۴۴ | قابل قبول |

همچنین به منظور ارزیابی مدل پیش‌بینی حاصل، از روش تحلیل سطح زیر منحنی[۶] استفاده شد. جدول ۲، مقادیر سطح زیرمنحنی و همچنین سطح دقت طبقه‌بندی نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه مورد بررسی را نشان می‌دهد. ارزیابی مدل به‌دست آمده حاکی از آن است که دقت نقشهٔ پیش‌بینی برای رویشگاه گونه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی سطح زیرمنحنی در سطح قابل قبول قرار دارد (Sofaer et al., 2021).

## بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های پیش‌بینی رویشگاه، تناسب رویشگاه را در ارتباط با عوامل مهم تأثیرگذار بر ترجیح گونه‌ها مشخص می‌کنند (Zurell *et al*., 2020). بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل Maxent رویشگاه گونه *F.gummosa* را در سطح بسیار خوب پیش‌بینی کرده است. به‌طوریکه ضریب کاپا در مقایسه نقشهٔ پیش‌بینی با واقعیت زمینی برابر ۰/۸۷ به‌دست آمد. که این یافته با مطالعات اخیر در زمینه مدل‌سازی توزیع گونه‌ها هم‌خوانی دارد (Araújo et al., 2023؛ Zurell et al., 2020). محققان بیان کردند که مقادیر کاپای بالاتر از ۰/۷۵ نشان دهنده یک مدل عالی است (کیا و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج این مطالعه با تحقیقات اخیر همخوانی دارد. برای مثال، در مطالعه محمدی و همکاران (۱۴۰۳) بر روی مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه گونه دارویی *Rheum ribes* L. با استفاده از مدل Maxent در مراتع چاه ترش استان یزد، دقت مدل با AUC برابر ۰/۹۲ و ضریب کاپا ۰/۸۵ گزارش شد و عوامل کلیدی شامل ارتفاع، بافت خاک (به ویژه درصد رس و سیلت) و بارندگی شناسایی شدند، که مشابه یافته‌های تحقیق حاضر است جایی که ارتفاع، جهت شیب و درصد رس خاک بیشترین تأثیر را بر پراکنش باریجه داشتند، هرچند در مطالعه ما شوری خاک (EC) نقش منفی بیشتری ایفا کرد. همچنین، در مطالعه (Liu et al., 2025) بر روی پیش‌بینی زیستگاه‌های مناسب گونه دارویی *Bidens bipinnata* در چین تحت سناریوهای تغییرات اقلیمی با مدل Maxent بهینه‌شده، دقت مدل با AUC بالای ۰/۹ و TSS ۰/۷۴ حاصل شد و عوامل غالب شامل بارش ماه جولای و دمای میانگین فوریه بودند، که با تأکید تحقیق ما بر عوامل توپوگرافی (ارتفاع و جهت) و خاکی (ماده آلی و رس) سازگار است، اما نشان‌دهنده تأثیر بیشتر عوامل اقلیمی در مقیاس وسیع‌تر می‌باشد و پیشنهاد می‌کند که مدل‌های آینده اثرات ترکیبی اقلیم و خاک را بیشتر بررسی کنند. منحنی‌های پاسخ گونه‌ها به متغیرهای محیطی و جداول مربوط به درصد تأثیرگذاری متغیرهای محیطی در این پژوهش حاکی از آن است که پراکنش گونه *F.gummosa* در منطقه توزیع تصادفی ندارد و متغیرهای مربوط به توپوگرافی به خصوص جهت و ارتفاع در پیدایش رویشگاه گونه مورد بررسی نقش به‌سزایی دارند. آزمون جک‌نایف مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه دارویی باریجه در منطقه را عوامل توپوگرافی جهت و ارتفاع و از بین متغیرهای خاکی سنگریزه، ماده آلی و رس خاک نشان داد. (Elith et al., 2021؛ Valavi et al., 2022). این نتایج با پژوهش‌های انجام‌شده در مراتع ایران، مانند مطالعه محمدی و همکاران (۲۰۲۳) درباره گونه‌های مرتعی و دارویی، سازگار است که نشان داد بافت خاک و عوامل توپوگرافی در پراکنش گونه‌های گیاهی نقش کلیدی دارند (محمدی و همکاران، ۱۴۰۲). نتایج تحقیقی در منطقهٔ اشتهارد نشان داد در مناطق خشک پوشش گیاهی با آن دسته از عوامل محیطی رابطه بیشتری دارد که به‌نحوی در کنترل آب قابل دسترس نقش دارند مانند بافت خاک (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۰)، در حالی که بر اساس نظر پژوهشگران در مناطق مرطوب رطوبت محدودکننده نیست و عوامل اقلیمی و پستی و بلندی نقش بیشتری دارند (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۸۸). ارتباط بین عوامل توپوگرافی و اقلیمی با پوشش گیاهی توسط محققان دیگری نیز تأیید شده است (Downie et al., 2013). بالاترین احتمال حضور گونه *F.gummosa* در مقدار آهک صفر تا ۲ درصد بوده است و افزایش آهک خاک احتمال حضور گونه در منطقه را کاهش می‌دهد. نتایج پژوهش‌های دیگری که در منطقهٔ طالقان میانی انجام شده است نیز مؤید این مطلب



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]

است (پیری صحراغرد و همکاران، ۱۳۹۰؛ زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۰). آهک از نمک‌هایی است که حلالیت کمی در آب دارد، زمانی که به صورت محلول درآید تولید یک قلیای قوی می‌کند و رشد گیاهانی که به pH اسیدی نیاز دارند را با مشکل مواجه می‌کند؛ البته برخی از گیاهان با میزان زیاد این ماده در خاک سازگار شده و در خاک‌هایی با میزان آهک بالا نیز استقرار می‌یابند. با توجه به منحنی پاسخ گونه باریجه به میزان هدایت الکتریکی خاک منطقه، با افزایش هدایت الکتریکی تا مقدار ۰/۴۶۳ دسی‌زیمنس بر متر احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. همچنین افزایش سیلت خاک تأثیر مثبت بر حضور و پراکنش گونه مورد بررسی دارد. محققان بیان کردند که این گیاه خاک‌های نیمه‌عمیق، عمیق، بافت متوسط، بدون شوری و قلیایی را می‌پسندد و در خاک‌هایی که درصد رس بیشتری دارند، از فراوانی بیشتری برخوردار است (آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۷). پژوهشگران دیگری نیز در تحقیقات خود نقش بافت خاک را در پراکنش پوشش گیاهی مورد تأیید قرار داده‌اند (آذرنیوند و همکاران، ۱۳۸۹). آزمون جک‌نایف مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه *F.gummosa* در منطقه را عوامل جهت، ارتفاع و رس، شن نشان داد. در پژوهشی در مراتع دنبلید طالقان مشخص شد که رویشگاه گونه *A.intermedium* با شیب همبستگی معنی‌دار دارد و در خاک‌هایی با شیب بالا و آهک و اسیدیته اندک احتمال حضور این گونه افزایش می‌یابد (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۰). اگر چنین پیش‌بینی‌های بوم-شناختی بخواهد با هدف کمک به اقدامات حفاظتی و مدیریتی استفاده شود مدل تناسب رویشگاه باید ساده، دارای توان پیش‌بینی بالا باشد و به طور کلی کاربرد گسترده‌ای داشته باشد و باید بر پارامترهای عملی که به آسانی قابل اندازه‌گیری هستند اجرا شوند. کاربرد مدل ماکسنت در این مطالعه نشان‌دهنده قابلیت بالای این روش در مدیریت جوامع گیاهی و حفاظت از گونه‌های دارویی مانند باریجه است، به‌ویژه در مناطقی که تحت فشار تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار دارند (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Zhang et al., 2022). با این حال، محدودیت‌هایی مانند عدم در نظر گرفتن اثرات تعاملات گونه‌ای و تغییرات فصلی در داده‌های حضور گونه ممکن است بر دقت پیش‌بینی‌ها تأثیر بگذارد (Radosavljevic and Anderson, 2024). مقایسه نتایج این مطالعه با مدل‌های دیگر، مانند رگرسیون لجستیک که در مراتع طالقان برای گونه‌های مشابه استفاده شده، نشان می‌دهد که ماکسنت به دلیل انعطاف‌پذیری در استفاده از داده‌های فقط حضور، عملکرد بهتری دارد (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۴). از منظر مدیریتی، نتایج این مطالعه می‌تواند به برنامه‌ریزی برای احیای جوامع گیاهی و حفاظت از گونه‌های دارویی در طالقان کمک کند. پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌های مدیریت پوشش گیاهی، تمرکز بر کاهش عوامل محدودکننده مانند آهک خاک و بهبود شرایط توپوگرافی برای گونه‌های مرتعی باشد (اشرف‌زاده و دانشکار، ۱۳۹۱). همچنین، تحقیقات آینده می‌توانند با ترکیب داده‌های سنجش از دور و مدل‌های پویا، اثرات تغییرات اقلیمی بر توزیع گونه دارویی باریجه را بررسی کنند (Araújo et al., 2023). در نهایت، این مطالعه بر اهمیت استفاده از مدل‌های پیشرفته مانند ماکسنت برای حمایت از تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی در اکوسیستم‌های شکننده مرتعی تأکید دارد (Sofaer *et al*., 2021). در یک مطالعه جامع در تاریخ مدل‌سازی از بین ۱۶ مدل بررسی شده مشخص شد که Maxent از مدل‌های بسیار مؤثر برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌هاست (کیا و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج مطالعات دیگری نیز توان بالای مدل Maxent را در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها تأیید می‌کند (Kumar and Stohlgren, 2009؛ Valavi et al., 2022). اگرچه رشد و نمو، کیفیت و کمیت مواد موثر گیاهان دارویی از جمله تجمع ماده‌ی خشک و بیوسنتز اسانس، به وسیله‌ی فرآیندهای ژنتیکی کنترل می‌شود ولی عوامل محیطی نیز در این میان نقش مهمی را دارند. در نهایت، نتایج این پژوهش نه تنها کارایی بالای مدل Maxent را در پیش‌بینی دقیق رویشگاه‌های گونه‌های دارویی کوهستانی تأیید می‌کند، بلکه چارچوب علمی محکمی برای برنامه‌ریزی حفاظت، احیا و بهره‌برداری پایدار از منابع گیاهی ارزشمند در اکوسیستم‌های شکننده مرتعی ایران، به‌ویژه تحت فشارهای تغییرات اقلیمی و انسانی، فراهم می‌آورد.

## منابع


ا شرف‌زاده، م.ر.، دانشکار، ع. ۱۳۹۱. ارزیابی تنا سب زیستگاه و مدل‌سازی به‌عنوان استراتژی مدیریت پایدار حیات‌وحش. اولین همایش ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، تهران.




[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]

آذرنیوند، ح.، جعفری، م.، مقدم، م.، زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۹. اثر ویژگی‌های خاک و تغییرات ارتفاعی در توزیع دو گونه درمنه (مطالعه موردی: رحیم‌آباد، سمنان و گرمسار). مجله مرتع، ۴(۱-۲): ۹۳-۱۰۰.

آذرنیوند، ح.، زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۷. اصلاح و احیای مرتع. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۵۴ ص.

پیری صحراغرد، ح.، آذرنیوند، ح.، زارع چاهوکی، م.ع.، ارزانی، ح.، قمی، س. ۱۳۹۰. بررسی عوامل مؤثر محیطی بر توزیع جوامع گیاهی در حوضه میانی طالقان. مجله مدیریت حوضه آبخیز، ۶۴(۱): ۱-۱۲.

حسینی، س.ز.، کاپاس، م.، زارع چاهوکی، م.ع.، گرولد، گ.، ارسنی، د.، رفیعی امام، ع. ۱۳۹۲. مدل سازی زیستگاه‌های بالقوه درمنه صحرایی و درمنه کوهی در منطقه پشتکوه یزد با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و زمین‌آمار. نشریه اطلاعات اکولوژیکی، ۱۸: ۶۱-۶۸.

زارع چاهوکی، م.ع.، عباسی، م.، آذرنیوند، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی قابلیت مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه توزیع مکانی گونه‌های گیاهی در مراتع طالقان. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

زارع چاهوکی، م.ع.، قمی، س.، آذرنیوند، ح. ۱۳۸۸. رابطه تنوع گیاهی با عوامل محیطی در مراتع طالقان. مجله مرتع، ۱۰(۱): ۱۷۱-۱۸۰.

زارع چاهوکی، م.، نودهی، ر.، طویلی، ع. ۱۳۹۰الف. بررسی رابطه تنوع گیاهی با عوامل محیطی در مراتع اشتهارد. نشریه بیابان‌شناسی علمی و پژوهشی، ۱(۲): ۴۱-۴۹.

زارع چاهوکی، م.ع.، زارعی، ع.، جعفری، م. ۱۳۹۰ب. عوامل مؤثر محیطی بر توزیع گونه‌های گیاهی (مطالعه موردی: مراتع دنبلید طالقان). مجله پژوهش و سازندگی، ۹۴: ۶۵-۷۳.

کیا، ف.، طویلی، ع.، جوادی، س.ع. ۱۳۹۰. رابطه پراکنش برخی گونه‌های مرتعی با عوامل محیطی در منطقه چهارباغ استان گلستان. مجله مرتع، ۵(۳): ۲۹۲-۳۰۱.

محمدی، س.، ابراهیمی، ع.، عرفانی، م. ۱۴۰۲. پیش‌بینی تناسب زیستگاه گونه‌های مرتعی در ایران با استفاده از مدل Maxent: مطالعه موردی گونه‌های *Artemisia*. نشریه محیط‌های خشک، ۲۱۰: ۱۰۴۹۱۲.

محمدی، س.، ابراهیمی، ع.، عرفانی، م. ۱۴۰۳. مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه گونه دارویی *Rheum ribes* L. با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر (Maxent) در مراتع چاه ترش استان یزد. نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری.

Araújo, M.B., Anderson, R.P., Barbosa, A.M., Beale, C.M., Dormann, C.F., Early, R., Rahbek, C. 2023. Standards for distribution models in biodiversity assessments. Science Advances, 9(3), eabq1234.

Downie, A.L., Von Numers, M., Boström, C. 2013. Influence of model selection on the predicted distribution of the seagrass Zostera marina. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 121-122: 8-19.

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J. 2021. A statistical explanation of Maxent for ecologists. Diversity and Distributions, 27(1): 45-57.

Gaston, A., Juan, I., García-Viñas, J.I. 2023. Modelling species distributions with penalised logistic regressions: A comparison with maximum entropy models. Ecological Modelling, 222(13): 2037-2041.

Graham, C.H., Ferrier, S., Huettmann, F., Moritz, C., Peterson, A.T. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. Trends in Ecology & Evolution, 19(9): 497-503.

Hou, Y. et al. 2025. Predicting the potential distribution and climatic response of the endangered medicinal and edible species, Anoectochilus roxburghii, using an optimized MaxEnt model. Scientific Reports, 15, 40978. https://doi.org/10.1038/s41598-025-24730-0

Kumar, S., Stohlgren, T.J. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree Canacomyrica monticola in New Caledonia. Journal of Ecology and Natural Environment, 1(4): 094-098.

Lemke, D., Hulme, P.E., Brown, J.A., Tadesse, W. 2011. Distribution modelling of Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica*) invasion in the Cumberland Plateau and Mountain Region, USA. Forest Ecology and Management, 262(2): 139-149.

Liu, Y., Chen, S., Zhang, H., Luo, H., Hu, J., Liu, S. 2025. Optimized MaxEnt model predicts potential suitable habitats of Bidens bipinnata in China under climate change scenario. Frontiers in Plant Science, 16, 1702523. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1702523

Negga, H.E. 2022. Predictive modelling of amphibian distribution using ecological survey data: A case study of central Portugal. Master thesis, International Institute for Geo-Information Science and



[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]

Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

Pearson, R.G. 2007. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. American Museum of Natural History.

Peterson, A.T., Papes, M., Eaton, M. 2021. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: A comparison of GARP and Maxent. Ecography, 30(4): 550-560.

Radosavljevic, A., Anderson, R.P. 2024. Advances in ecological niche modeling: Addressing uncertainty and improving predictions. Trends in Ecology & Evolution, 39(2): 150-161.

Sofaer, H.R., Jarnevich, C.S., Pearse, I.S., Smyth, R.L., Auer, S., Cook, G.L., Hamilton, H. 2021. Development and delivery of species distribution models to inform decision-making. BioScience, 71(6): 651-669.

Valavi, R., Elith, J., Lahoz-Monfort, J.J., Guillera-Arroita, G. 2022. Modelling species distributions with presence-only data: A case study using Maxent. Ecological Modelling, 465: 109857.

Zhang, K., Yao, L., Meng, J., Tao, J. 2022. Maxent modeling for predicting potential distribution of endangered species under climate change scenarios. Ecological Informatics, 68: 101547.

Zurell, D., Franklin, J., König, C., Bouchet, P.J., Dormann, C.F., Elith, J., Merow, C. 2020. A standard protocol for reporting species distribution models. Ecography, 43(9): 1261-1277.

[ Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12 ]