Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 13, Issue 26
http://pec.gonbad.ac.ir

Utilization of Environmental Factor Modeling in Habitat Suitability Assessment of *Ferula assa-foetida* in Hormozgan Province

Mahdieh Iranmanesh[1], Yahya Esmaeilpour[2*], Hamid Gholami[3], Navazallah Moradi[4]

[1] Ph.D. in Desert Management and Control, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2] Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[3] Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Received: 2024/06/09; Accepted: 2024/08/12

Abstract

Ferula assa-foetida is a plant native to Asia that adapts well to Iran's climate. It is valued not only for its medicinal properties but also for its strong root system and ability to produce significant organic matter, which helps protect the soil. The current study aims to assess the potential habitats where this plant can thrive. In Hormozgan Province, due to the large size of the area, presence points were sampled through field visits conducted in 2019, resulting in 503 usable locations where the plant was recorded. The modeling process used the Biomod 2 package, incorporating 19 bioclimatic variables and 7 additional environmental factors related to NDVI and topography. The data were split into 70% for model training and 30% for testing model accuracy. Among the various algorithms available in the Biomod 2 package, the most effective was selected based on ROC and TSS scores. The results showed that the random forest algorithm performed best, with a TSS score of 0.96 and an ROC score of 0.99. The most influential factor affecting the plant's distribution was identified as Bio19, which measures rainfall during the coldest quarter, accounting for 31% of the model's predictive power. The least influential factor was geographical aspect, contributing less than 1% to the model. Overall, the findings indicate that climate factors, especially rainfall, play a crucial role in determining suitable habitats for *Ferula assa-foetida*. The areas with the highest potential for this species are the mountainous northern and western parts of Hormozgan Province, which receive heavy rainfall. These results provide a scientific basis for conservation, promotion, and sustainable cultivation of *Ferula assa-foetida* in Hormozgan.

***Keywords*:** *Assa-foetida*, Precipitation, Distribution, NDVI, Medicinal Plants

[*] Corresponding author: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

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

علمی-پژوهشی

بهره‌گیری از مدل‌سازی عوامل محیطی در ارزیابی مطلوبیت زیستگاه گیاه آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) در استان هرمزگان

مهدیه ایرانمنش[1]، یحیی اسماعیل‌پور[2*]، حمید غلامی[3]، نوازاله مرادی[4]

[1] دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
[2] دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
[3] استاد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
[4] استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

چکیده

آنغوزه با نام علمی *F. assa-foetida* L. گونه‌ای بومی آسیا است که سازگاری فراوانی با شرایط اقلیمی کشور ایران دارد؛ این گونه علاوه بر کاربردهای دارویی به‌دلیل سیستم ریشه‌ای قوی و تولید ماده آلی زیاد نقش مهمی در حفاظت خاک دارد. هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی تناسب رویشگاه گیاه آنغوزه است. منطقه مطالعه استان هرمزگان و برای مدل سازی مطلوبیت زیستگاه گیاه آنغوزه با توجه به وسعت منطقه، نمونه‌برداری از نقاط حضور با بازدیدهای میدانی در سال ۱۳۹۹ انجام و در مجموع ۵۰۳ نقطه حضور قابل بهره‌برداری منطقه تعیین شد. متغیرهای پیش‌بین به‌کارگرفته‌شده در مدل‌سازی با بهره‌گیری از بسته Biomod2 شامل ۱۹ متغیر اقلیمی و ۷ متغیر محیطی دیگر مرتبط با NDVI و توپوگرافی بودند. توزیع نقاط حضور در آموزش و ارزیابی مدل به ترتیب ۷۰ و ۳۰ درصد بود. از میان الگوریتم‌های مختلف موجود در بسته بایومد بر اساس مقادیر محاسباتی ROC و TSS الگوریتم برتر برگزیده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با مقادیر TSS=0.96 و ROC=0.99 انتخاب شد. بیشترین اهمیت و سهم در میان عوامل موثر بر پراکندگی گونه مربوط به Bio19 (بارش سردترین فصل) با ۳۱ درصد و کمترین اهمیت مربوط به عامل جهت جغرافیایی با کمتر از یک درصد اهمیت ارزیابی شد. نتایج پژوهش نشان‌دهنده تأثیر بسزای عوامل اقلیمی از جمله بارش بر پراکندگی گونه آنغوزه است. بیشترین استعداد رویشگاهی برای گونه مورد بررسی در بخش‌های کوهستانی شمال و غرب استان هرمزگان پیش‌بینی شد که به لحاظ اقلیمی دارای بارش‌های شدید است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنای علمی برای حفاظت، معرفی و گسترش گونه آنغوزه در هرمزگان به کار گرفته شود.

واژه های کلیدی: آنغوزه، بارش، پراکندگی، NDVI، گیاهان دارویی

مقدمه

دانشمندان بسیاری درباره کاهش شمار یا دگرگونی دامنه پراکندگی گونه‌ها هشدار داده‌اند (Rana et al., 2017). تغییرات آب و هوا، کاربری زمین، تخریب زیستگاه و ناترازی حوزه‌های آبخیز مهم‌ترین شوندهای کاهش تنوع زیستی هستند (Waldron et al., 2013). یکی از تأثیرات مهم تغییر شرایط محیطی و تغییر اقلیم بر گیاهان، تغییر محدوده جغرافیایی آن‌ها است (Lawler et, 2006). پیش‌بینی تأثیر آب و هوا بر توزیع گونه‌های گیاهی ارزشمند برای حفاظت منابع خاک و پوشش گیاهی ضروری است (Elith & Franklin, 2013). تغییر اقلیم تنها عامل در جابه‌جایی گونه‌های گیاهی نیست؛ عوامل دیگری مانند خاک، سطح آب زیرزمینی، رقابت و غیره نیز ممکن است بر پراکندگی گونه‌ها تأثیر بگذارد (Hamann

*نویسنده مسئول: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

& Wang, 2006).گیاه آنغوزه با نام علمی *Ferula assa-foetida* L. از خانواده چتریان (Apiaceae) است.

F. assa-foetida. L در ارتفاعات می‌روید و بومی استپ‌های ایران و افغانستان است. در نتیجه بریدن تنه ساقه و ریشه تازه F. assa-foetida، صمغی به نام آنغوز، بیرون می‌ریزد که دارای خواص دارویی است (Song et al., 2021). درمان هضم غذا، خواص ضد میکروبی، ضد التهابی، درمان عفونت‌های قارچی معده، درمان کزاز، یرقان و غیره. گیاه آنغوزه به‌دلیل برداشت‌های مکرر، یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی محسوب می‌شود. همچنین پراکندگی گوناگون زیستگاه این گونه و تغییرات آب و هوایی، در معرض تخریب قرار گرفته است. بنابراین، انجام مدل‌سازی توزیع بر روی آنغوزه برای درک بهتر الگوهای توزیع و همچنین کمک به تلاش‌های حفاظتی مهم است. الگوهای توزیع گونه‌ها می‌تواند به عوامل مختلفی از جمله تأثیرات محیطی، تأثیرات فعالیت‌های انسانی و رقابت بین گونه‌ها بستگی داشته باشد (Song et al., 2021). در بیشتر موارد، گیاهان در تعادل با شرایط آب و هوایی محلی باقی می‌مانند. با این حال، دماهای شدید و تغییرات در الگوهای آب و هوا به می‌تواند منجر به افزایش تنش روی گیاهان و در نتیجه کاهش رشد و حساسیت به بیماری شود (Hoban et al., 2019). برای پاسخ به تغییرات چشمگیر آب و هوا، گیاهان می‌توانند توزیع خود را به دنبال محیط های متغیر تغییر دهند و فیزیولوژی خود را برای انطباق با شرایط متغیر تغییر دهند (Mestre et al., 2022). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDMs) اغلب برای درک روابط محیطی و پیش‌بینی توزیع گونه ها در فضا های محیطی و جغرافیایی استفاده می‌شوند. SDM ها ابزارهای مهمی برای برنامه‌ریزان حفاظت از محیط زیست، بوم شناسان و مدیران منابع طبیعی هستند (Zurell et al., 2020). روش‌های SDM از روش‌های صرفاً همبستگی (یعنی ارزیابی های آماری روابط بین حضور گونه ها و مجموعه‌ای از متغیر های محیطی) تا روش های کاملاً مبتنی بر فرآیند (به عنوان مثال، روابط اکولوژیک صریح بین شرایط محیطی و عملکرد ارگانیسم) را شامل می‌شود (Zurell et al., 2022). با توجه به محدودیت پارامترهای تقاضا در رویکردهای مبتنی بر فرآیند، SDM های مبتنی بر همبستگی به دلیل سادگی و دسترسی به نرم‌افزارهایی مانند Maxent به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Phillips et al., 2006). در این میان روش‌های مختلف ممکن است نقاط قوت و ضعف خاص خود را داشته باشند. هائو و همکاران (Hao et al., 2019) گزارش داده‌اند که مدل سازی گروهی با ترکیب نتایج چندین مدل فردی، پیش‌بینی های دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتری را تولید می‌کند. یکی از کارکردهای اصلی SDM این است که به ما کمک کند؛ جایگاه گونه‌های خاص را درک کنیم. با مدل‌سازی روابط بین توزیع های گونه ها و متغیر های محیطی، SDM می‌تواند بینشی در مورد جایگاه اصلی یک گونه یا مجموعه شرایط محیطی که تحت آن می‌تواند ادامه داشته باشد، ارائه دهد. (Smith et al., 2019) یکی دیگر از عملکردهای SDM شناسایی زیستگاه‌های مناسب برای حیات وحش و کمک به تلاش‌های حفاظتی است (Zurell et al., 2022). با پیش‌بینی توزیع بالقوه در مناطق و دوره‌ها، SDM می‌تواند مناطقی را شناسایی کند که گونه‌ها ممکن است در معرض خطر از دست دادن زیستگاه باشند (Fassou et al., 2020). علاوه بر این، پیش‌بینی مناسب بودن زیستگاه گونه‌ها در آینده تحت شرایط تغییر آب و هوا، پیامدهای مهمی برای حفاظت از حیات وحش و تلاش‌های معرفی دارد (Brambilla et al., 2022, Tang et al., 2022). مولایی و همکاران (۱۴۰۳) در بررسی پیش بینی پتانسیل توزیع گونه (*Artemisia chamaemelifolia*) در استان اردبیل با استفاده از محیط MaxEnt تناسب بالقوه زیستگاه این گونه را پیش‌بینی نمودند و به این نتیجه رسیدند که بارندگی فصلی نقش مهمی در پراکندگی این گونه دارد. بحرینی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۲) مدل سازی رویشگاه بالقوه گیاه آنغوزه (*Ferula assa-foetida*) با استفاده از مدل حداکثر بی‌نظمی در استان اصفهان به این نتیجه رسیدند احتمال حضور گیاه آنغوزه در مناطقی با شیب بیشتر از ۷۰ درصد، دامنه تغییرات سالانه دما از حدود ۳۷ تا ۴۳ درجه سلسیوس، بارش سالانه و بارش سردترین فصل سال به‌ترتیب با مقادیر حدود ۷۰ و ۴۰ میلیمتر بیشتر است. فخیمی و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی پیامد های تغییر اقلیم بر گستره حال و آینده درمنه کوهی (*Artemisia aucheri* .Boiss) در رویشگاه‌های مرتعی زاگرس مرکزی، استان چهارمحال و بختیاری به این نتیجه رسیدند تغییر اقلیم و در پی آن افزایش دما باعث جابه‌جایی گستره رویشی گونه *A. aucheri* و حرکت آن به سمت ارتفاعات بالاتر خواهد

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

شد. از این‌رو حد پایین و بالای (۲۶۰۰- ۱۸۰۰ متر) مورد انتظار گستره رویشی گونه موردنظر طی سه دهه آینده دستخوش تغییر قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

مختصات جغرافیایی چهارگوش محاط بر استان هرمزگان عرض‌های شمالی ۲۵,۴۰۲۰۸ تا ۲۸,۹۵۰۷۹ و طول‌های جغرافیایی ۵۲,۶۷۳۳۶ تا ۵۹,۲۸۷۹۵ را شامل است (شکل ۱). بر اساس بررسی‌های انجام شده، مساحت استان هرمزگان ۸۵۰۳۲/۸ کیلومتر مربع، میانگین بارندگی ۵۶ ساله هرمزگان ۱۷۲,۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۷ درجه سلسیوس و دارای تغییرات ارتفاع از ۴۵۳۶۰ تا ۲۰۰۰ متر است. آب و هوای آن به‌نیمه بیابانی و بیابانی تقسیم می‌شود. گونه دارویی آنغوزه در استان هرمزگان یکی از منابع مهم درآمد جوامع بومی و دستیابی به دانش و شناخت برای بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری از آن در عین رعایت اصول حفظ خاک و پوشش گیاهی حایز اهمیت است. بر این اساس در این پژوهش، نظر به اهمیت بررسی زیستگاه و حفظ گونه آنغوزه اقدام به مطالعه مطلوبیت زیستگاه آن با روش‌های مدل‌سازی توزیع گونه‌ای شد.

داده‌های حضور گونه آنغوزه

نقاط حضور با استفاده از بازدیدهای میدانی سال ۱۳۹۹ در چند منطقه از استان هرمزگان در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت انتخاب گردید. در مجموع ۵۰۳ نقطه با استفاده از GPS (سیستم موقعیت یاب جهانی) ثبت شد. بر پایه روش‌شناسی رایج در این مدل‌سازی و به منظور پیشگیری از خطای نمونه‌برداری ناشی از همبستگی بین نقاط پس از ثبت نقاط حضور، نقاط نبودانگاری (PA: Psodo-Absence) در ۳ تکرار ایجاد شد.

معرفی Biomod2

Biomod2 یکی از بسته‌های توسعه یافته تحت زبان برنامه‌نویسی R و یک پلتفرم برای مدل‌سازی مستقل و گروهی است (Thuiller et al., 2009). با توسعه سریع پژوهش‌های مدل سازی توزیع گونه‌ای Biomod2 به‌عنوان ابزاری قدرتمند و جامع کاربرد روزافزونی یافته است (Zurell et al., 2020). این بسته در برگیرنده شمار قابل توجهی از مدل‌های رایج در پیش‌بینی پراکندگی جغرافیایی گونه‌ها است و توانایی ترکیب نتایج مدل‌های برگزیده و ساخت مدل‌های اجماعی را نیز دارد (Sherestha et al., 2018).

داده‌های محیطی و تحلیل همبستگی

با توجه به هدف تحقیق برای پیش‌بینی توزیع جغرافیایی مناطق مستعد رویش گونه آنغوزه، از متغیرهای زیست‌اقلیمی ۱۹ گانه پایگاه داده: https://www.worldclim.org با رزولوشن ۳۰ ثانیه بهره گرفته شد (Karger et al., 2017). افزون بر این هفت متغیر محیطی دیگر شامل: کمینه، بیشینه، میانه و انحراف معیار سالانه NDVI، ارتفاع، شیب و جهت شیب نیز استفاده شد. سپس هم‌خطی بین ۲۶ متغیر پیش‌بین با بهره‌گیری از شاخص تورم واریانس (VIF) بررسی شد و متغیرهای همبسته حذف شدند (Naimi et al, 2014) (جدول ۱).

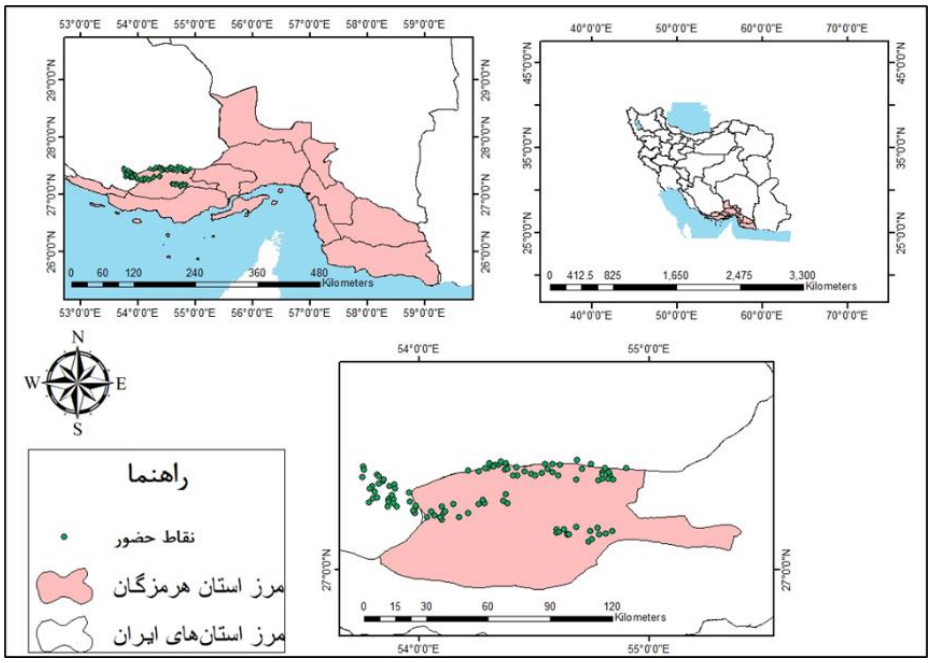
مدل‌سازی

با توجه به ماهیت داده‌ها و هدف مطالعه نُه مدل از مدل‌های موجود در بسته Biomod2 برگزیده شد. تقسیم‌بندی تصادفی داده‌ها آموزش و ارزیابی مدل به نسبت ۷۰ به ۳۰ انجام شد (Sillero et al., 2021). مدل‌سازی با در نظر گرفتن همه متغیرهای محیطی اعم از زیست‌اقلیمی، توپوگرافی و NDVI در ۱۰ تکرار اجرا شد. و سپس مناسب‌ترین مدل از طریق منحنی‌های ROC ارزیابی گردید. اهمیت نسبی هر متغیر محیطی در مدل‌سازی بر اساس مدل ترکیبی محاسبه و منحنی پاسخ گونه به متغیرهای محیطی نیز ترسیم شد.

نقشه‌سازی و پیش‌بینی توزیع جغرافیایی

در پایان نقشه تناسب زیستگاه گونه آنغوزه بر اساس مدل‌های برگزیده پروجکت و پتانسیل پراکندگی این گونه در منطقه مورد مطالعه تعیین شد (Hadley, 2016).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه در استان هرمزگان و ایران و پراکندگی نقاط حضور گونه

جدول ۱- فهرست متغیرهای محیطی پیش‌بین و مدل‌های مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه گونهٔ آنغوزه

ردیف	نمایه متغیر	توصیف متغیر	مدل‌های مورد استفاده
۱	Bio3	شاخص هم دمایی ((bio2/bio7)*100)	مدل خطی تعمیم یافته (GLM)
۲	Bio4	تغییرات فصلی دما	روش تقویت عمومی (GBM)
۳	Bio9	میانگین دما، خشکترین فصل سال	تجزیه و تحلیل درخت طبقه‌بندی (CTA)
۴	Bio13	مجموع بارندگی پربارشترین ماه	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)
۵	Bio14	مجموع بارندگی کم بارشترین ماه	پوشش محدوده سطحی (SRE)
۶	Bio15	بارش فصلی (ضریب تغییرات)	تجزیه و تحلیل توصیفی (FDA)
۷	Bio18	مجموع بارندگی گرم ترین فصل سال	رگرسیون تطبیقی چند متغیره (MARS)
۸	Ndvimedian	میانه شاخص ndvi	جنگل تصادفی (RF)
۹	Ndvistdev	انحراف معیار شاخص ndvi	حداکثر آنتروپی (MaxEnt)
۱۰	SRTMnorthness	جهت شیب	
۱۱	SRTMslope	شیب	

نتایج

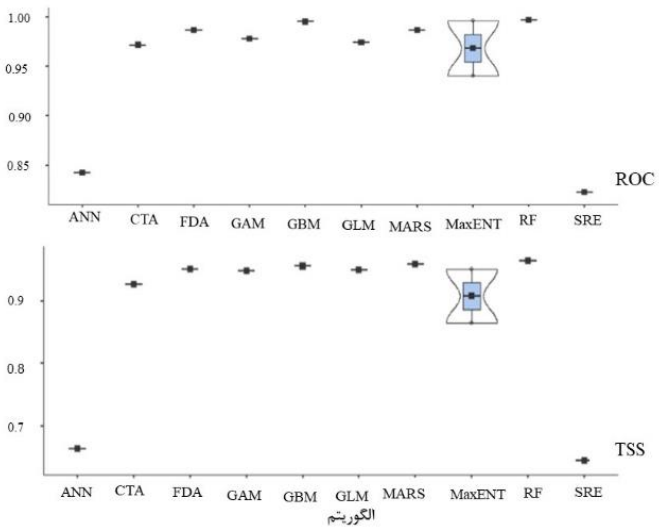
در آغاز نتایج ارزیابی مدل‌های به‌دست‌آمده با سه تکرار نقاط نبودانگاری با آزمون Anova مقایسه شد. نتایج نشان داد دقت و عملکرد مدل‌ها در حالت‌های مختلف داده نبودانگاری دگرگونی معنی‌داری نداشته است که نشان‌دهنده کمیت و کیفیت مناسب داده‌های ورودی و متناسب بودن تنظیمات مدل‌سازی با شرایط این پژوهش بود (جدول ۲).

در گام بعدی مدل‌های با ورودی فقط متغیرهای اقلیمی و مدل‌های اجرا شده با ورودی متغیرهای اقلیمی، توپوگرافیک و NDVI مقایسه شدند. نتایج نشان داد، در هر دو حالت با توجه به مقادیر ROC=0.99 و TSS=0.96 الگوریتم جنگل تصادفی (RF) بهترین عملکرد را داشته و نتایج آن در ۱۰ تکرار مدل‌سازی با سه دیتاست نبودانگاری دقت مناسب و پایداری داشته است (شکل ۲).

جدول ۲- آزمون ANOVA بین نتایج تکرار نقاط نبودانگاری (PA)

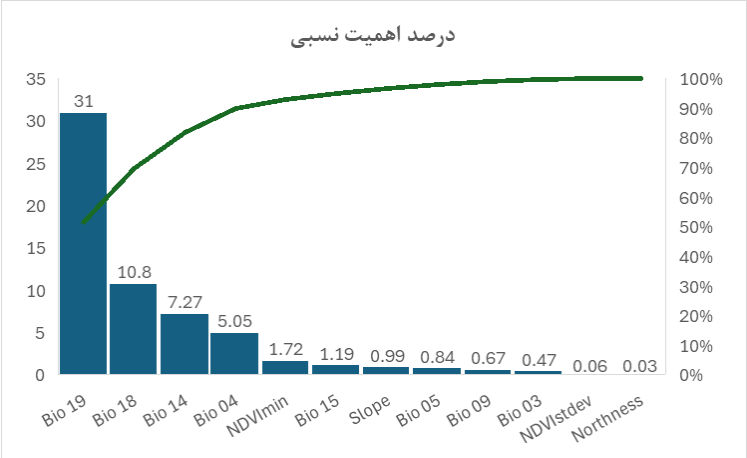
معنی‌داری	میانگین مربعات	درجه آزادی	F
۰/۵۰۷	۰/۰۰۶۷	۲	۰/۰۶۸

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۲- ارزیابی دقت الگوریتم‌های مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه مورد مطالعه

یکی دیگر از یافته‌های بسیار با اهمیت از دیدگاه اکولوژیک مقایسه اهمیت نسبی متغیرهای پیش‌بین به‌کاررفته در مدل‌سازی است که در شکل (۳) ارائه شده است. بر اساس این بخش از نتایج، به ترتیب پنج متغیر اقلیمی بارش در سردترین فصل سال (Bio 19)، بارش گرم‌ترین فصل (Bio 18)، بارش در خشک‌ترین فصل (Bio 14)، تغییرات فصلی دما (Bio 04)، و شاخص کمینه NDVI بیشترین اهمیت را در توجیه و توصیف چگونگی پراکندگی جغرافیایی پایه‌های گیاه آنغوزه در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند.

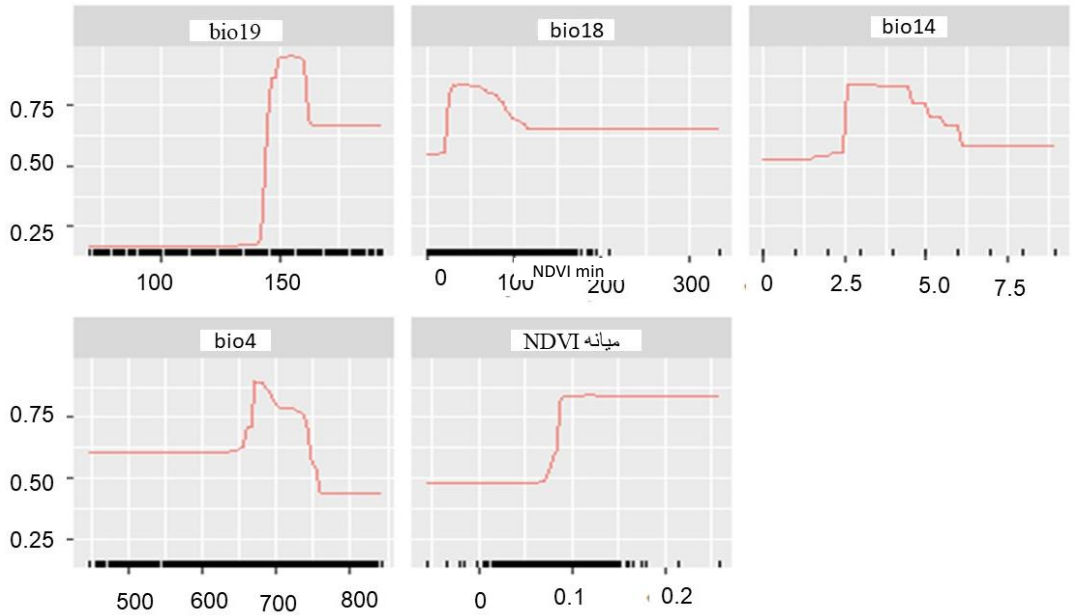


شکل ۳- درصد اهمیت نسبی متغیرهای پیش‌بین در تعیین مکان‌های مستعد حضور آنغوزه

با توجه به عملکرد برتر الگوریتم جنگل تصادفی در مدل‌سازی، منحنی پاسخ گونه آنغوزه به متغیرهای پیش‌بین دارای بیشترین اهمیت نسبی استخراج و در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد: مناطقی که مقادیر Bio 19 (بارش سردترین ماه سال) در آنها از ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر بوده است، مناسب حضور گونه آنغوزه بوده و بهترین شرایط در شرایط بارش ۱۴۵ تا ۱۶۰ میلی‌متر فراهم بوده است به گونه‌ای که نقاط حضور آنغوزه از ۵۰ میلی‌متر بارش تا مقادیر ۱۴۵ با تراکم نه‌چندان زیاد دیده شده و از ۱۴۵ میلی‌متر به شدت افزایش می‌یابد. روند افزایشی تا ۱۶۰ میلی‌متر ادامه دارد و پس از آن کاهش می‌یابد. تراکم نقاط حضور یا نقاط دارای پتانسیل مناسب رویش آنغوزه در مناطقی که متغیر Bio 18 (بارش گرم‌ترین ماه) به حدود ۷۰ میلی‌متر می‌رسد، بیشینه بوده است. در مورد متغیر Bio 14 (مجموع بارندگی در کم بارش‌ترین ماه) شرایط

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

بهینه برای آنغوزه در مقادیر ۵/۵-۲/۵ میلی‌متر، است. بر اساس نتایج این سه متغیر می‌توان گفت که مقدار و پراکندگی زمانی بارندگی با در بر گرفتن نزدیک به ۵۰ درصد از مجموع اهمیت نسبی عوامل محیطی بیشترین تاثیر را بر پراکندگی جغرافیایی گیاه آنغوزه در منطقه مورد بررسی به خود اختصاص داده است. متغیر Bio 04 که معرف تغییرات فصلی دما است، نشان‌دهنده احتمال حضور گونه در مناطقی با تغییرات زیاد دما در فصل‌های مختلف است که ویژگی طبیعی مناطق مرتفع‌تر است. مقدار کمینه ماهانه شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد کمینه NDVI در آشکارسازی مناطق رویشی مستعد حضور آنغوزه متغیر پیش‌بین نسبتا خوبی است که با توجه به اینکه بخش هوایی گونه یادشده پس از پایان فصل رویش خشک شده و از بین می‌رود؛ لذا انتظار می‌رود مناطقی که در فصل نامساعد رشد کمترین مقدار مشاهداتی NDVI سالانه را نشان می‌دهند، با احتمال بالاتری رویشگاه این گونه باشند؛ زیرا با حذف شدن کامل گیاهان آنغوزه که تاج پوشش گسترده‌ای نیز دارند مقدار بازتاب طیفی ناشی از تاج پوشش کاهش قابل توجهی در مناطق رویش این گونه خواهد داشت.

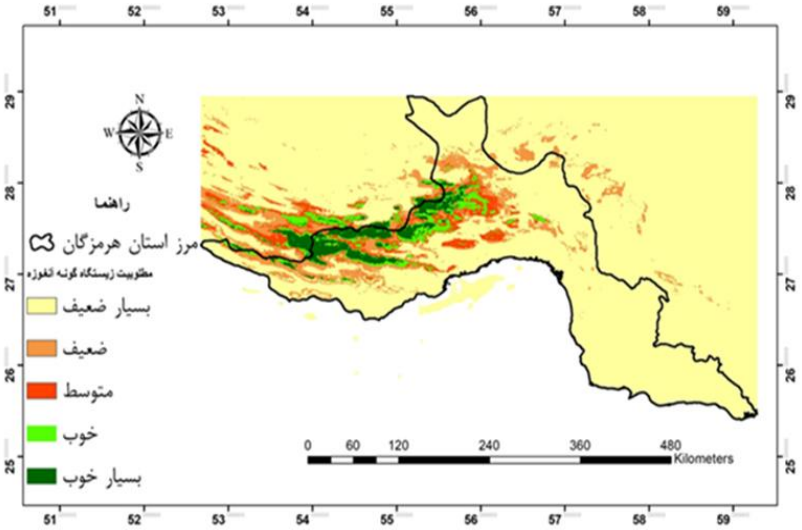


شکل ۴- منحنی پاسخ متغیرهای پیش‌بین دارای بیشترین اهمیت نسبی استخراج شده از نتایج مدل‌سازی با الگوریتم جنگل تصادفی

نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه آنغوزه

انعکاس مقادیر محاسبه‌شده با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی برای مطلوبیت زیستگاه آنغوزه بر روی نقشه منطقه مورد مطالعه نشان داد که تقریباً ۸۰ درصد از منطقه توانایی استقرار گونه آنغوزه را نداشته و ۲۰ درصد باقیمانده شامل درجات کیفی تناسب از عالی تا ضعیف است. مناطق دارای مطلوبیت طبق شکل (۵) بیشتر در محدوده غرب و شمال استان شامل شهرستانهای بستک، بندر خمیر، بندرعباس و حاجی‌آباد) قرار دارند. از آنجاکه چهارگوش محاط بر استان هرمزگان به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده بود؛ در برخی مناطق استان‌های کرمان و فارس نیز که در مجاورت استان هرمزگان هستند، شرایط زیستگاهی مطلوب آنغوزه دیده می‌شود. بنابراین مناسب‌ترین زیستگاه در نواحی شمالی و شمال غربی استان هرمزگان است. این مناطق از نظر اقلیمی با بارش‌های شدید و مشکلات فرسایش خاک مواجه بوده و با توجه به خصوصیات رویشی گونه آنغوزه کاربرد نتایج پژوهش حاضر برای گسترش و ترویج آن در مناطق مورد مطالعه می‌تواند باعث بهبود همزمان معیشت مرتعداران و بهبود پایداری منابع آب و خاک گردد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۵- نقشه مطلوبیت زیستگاه گیاه آنغوزه برآورد شده با الگوریتم RF

بحث و نتیجه‌گیری

گیاه آنغوزه از جمله گونه‌های با ارزش در میان گیاهان دارویی است که با شناخت و گسترش آن می‌توان ایجاد اشتغال و درآمدزایی کرد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد، در بین الگوریتم‌های موجود در بسته Biomod2، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با دقت ۰/۹۹ بهترین عملکرد را داشته است و به‌عنوان مبنای محاسبات در این پژوهش مورد استفاده قرارگرفت. نتایج این قسمت با یافته‌های پژوهش‌های مشابه از جمله گائو و همکاران (Gao et al, 2024) که با استفاده از Biomod2 اثر تغییرات اقلیمی بر یک گونه صنوبر را در چین با استفاده از مدل جنگل تصادفی (RF) بررسی نمودند، سازگار بود. چنگ و همکاران (Cheng et al, 2022) بیان کردند که مدل جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی گونه‌ها است. مومنی و همکاران (۲۰۲۱)، با مقایسه مدل‌های پراکندگی گونه‌ها در خراسان، مدل RF را دارای دقت مناسب و به عنوان مدل انتخابی معرفی نمودند.

در پژوهش حاضر به‌منظور توصیف کمی شرایط زیستگاهی گونه گیاهی آنغوزه متغیرهای زیست‌اقلیمی، توپوگرافی و پوشش گیاهی استفاده شد. با توجه به مقادیر محاسبه‌شده ROC و TSS نتایج مدل در تکرارهای مختلف و شرایط متفاوت نقاط PA دقت و پایداری خوبی داشتند. از مهم‌ترین عوامل محیطی توجیه‌کننده تغییرات حدود ۵۰ درصد مربوط به سه متغیر زیست‌اقلیمی بارشی شامل بایوهای ۱۴، ۱۸ و ۱۹ بوده و حدود ۵ درصد تغییرات نیز به متغیر زیست‌اقلیمی بایو ۵ مربوط به تغییرات فصلی دما بوده است. در مورد سهم بیشتر بارش در توجیه چگونگی توزیع جغرافیایی گونه آنغوزه نتایج ما با پژوهش (Sood, 2020) که آنغوزه را در هند به عنوان یک محصول زمستانی (rabi crop) معرفی نموده که معمولاً در اکتبر و نوامبر رویش داشته و در اوایل بهار برداشت می‌شود همخوانی دارد. در میان متغیرهایی که نقش مهمی در تعیین محدودیت گونه آنغوزه دارند، بارش یک عامل کلیدی است که بر رشد، نمو و تولید مثل تأثیر می‌گذارد. نقش عامل بارش در پژوهش سعادت‌فر و همکاران (۱۳۹۷) با موضوع تعیین رویشگاه بالقوه گیاه دارویی آنغوزه در منطقه چترود کرمان نیز که از لحاظ روش‌شناسی تفاوت ماهوی با تحقیق حاضر داشته و با بهره‌گیری از تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است مورد تاکید قرار گرفته و ۳۷ درصد اهمیت نسبی داشته است. نتایج ما نشان می‌دهد که بارش گرم‌ترین فصل و بارش سردترین فصل تأثیر زیادی بر رشد این گونه دارند؛ به‌طوری‌که ۱۶۰ میلی‌متر بارندگی در سردترین ماه و ۷۰ میلی‌متر در گرم‌ترین ماه بهترین شرایط را رقم می‌زند. رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که باعث کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Metzger et al., 2013; Castillo, 2017; Duan and Li, 2022). همچنین تحقیقات پیرمرادی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد افزایش بارندگی سبب افزایش رشد رویشی، عملکرد شیرابه، چرخه رشد و بقای آنغوزه می‌شود.

در پژوهش زنگویی و همکاران (۱۳۹۱) با موضوع تعیین درجه حرارت‌های کاردینال جوانه زنی بذر آنغوزه نشان داده

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

شد بیشترین جوانه‌زنی دانه‌های آنغوزه در دماهای پایین‌تر از ۱۸ درجه سلسیوس بوده که با نتایج ما در مورد افزایش تناسب زیستگاه آنغوزه در هرمزگان با بیشتر شدن دامنه تغییرات فصلی دما سازگاری دارد.

پژوهش ما همچنین بار دیگر کارایی متغیرهای زیست‌اقلیمی در آشکارسازی نیازهای اکولوژیک گونه‌ها را توا (تایید) نمود و نشان داد مدل‌سازی توزیع گونه‌ها برای کمک به درک اکولوژیک بهتر ابزاری قدرتمند است که موید پژوهش‌های دیگر همچون (Sillero, 2021) است.

نتایج به دست آمده از نقشه تناسب زیستگاه گونه آنغوزه در این تحقیق، مناطق مناسب برای این گونه را مناطق مرتفع شمال و شمال غرب استان هرمزگان با بارش و تغییرات فصلی دمای بیشتر نسبت به دیگر نقاط تعیین شد که با نتایج مومنی و همکاران (۱۴۰۰) هم‌راستا است. عبدالپور و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش خود گزارش نموده‌اند مطلوب‌ترین تناسب از بارندگی ۶۰۰ میلی‌متر آغاز شده و در بارندگی ۲۰۰ میلی‌متر به کمترین مطلوبیت می‌رسد. چنین گزارش‌هایی در نگاه نخست به نظر ناسازگار با تحقیق حاضر به نظر می‌رسند اما یکی از نکته‌هایی که درباره نیازهای اکولوژیک آنغوزه شایسته توجه است این است که رژیم بارش مناطقی همچون استان هرمزگان به گونه‌ای است که در زمان بارش دما برای رویش مناسب بوده و لذا اغلب گونه‌ها با تغییر فصل رویش در مناطقی با مجموع بارندگی سالانه کمتر توانایی رویش می‌یابند.

نتیجه‌گیری

با توجه با نتایج پژوهش حاضر نقش عوامل اقلیمی با توجه به تغییرات اقلیم می‌تواند مهم باشد، اما نمی‌توان در مورد گیاهان دارویی فقط به نقش عوامل اقلیمی بسنده نمود؛ زیرا فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری‌های غیرمجاز می‌تواند رویشگاه این گیاهان را به خطر بیندازد. گونه آنغوزه به‌دلیل مقاوم بودن به تنش‌ها، سیستم ریشه‌ای قوی می‌تواند از خاک در برابر فرسایش آبی و بادی محافظت نماید و این نیز امری مهم در حفظ منابع طبیعی کشور به‌خصوص در مناطق با خاک محروم است. ازآنجاکه این گونه ارزش اقتصادی زیادی دارد می‌تواند سبب بهبود معیشت به خصوص برای مردم محلی شود. بنابراین با اعطای مجوز کاشت و برداشت با برنامه‌ریزی علمی و مدیریت و نظارت کارشناسان می‌توان به دستیابی به راهکاری برای بهبود همزمان پایداری اکولوژیک و بهبود اقتصاد و اجتماع مردم امید داشت. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند پشتوانه‌ای برای چنین برنامه‌هایی باشد و به گسترش و ترویج این گونه در مناطق مورد مطالعه برای حفاظت از این گونه و بهبود پایداری منابع آب و خاک بینجامد.

منابع

بحرینی‌نژاد بابک، جابرالانصار زهرا، سفیدکن فاطمه، ۱۴۰۲. مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گیاه آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) با استفاده از مدل حداکثر بی‌نظمی در استان اصفهان، حفاظت زیست بوم گیاهان. ۱۱(۲۳): ۱۴۶-۱۳۳.

پیرمرادی، محمدرضا، مقدم، محمد، یزدانی، نوید، ۱۳۹۴. بررسی تیمارهای مختلف آبیاری در عملکرد شیرابه، میزان اسانس، خصوصیات مورفولوژیک، و بقای گیاه دارویی- مرتعی(*Ferula assa-foetida* L.)، مجله مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۸(۱): ۳۴-۲۵.

زنگویی، مصطفی، پارسا، سهیل، محمودی، سهراب، جامی‌الاحمدی، مجید، ۱۳۹۱. تعیین درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی بذر آنغوزه (*Ferula assafoetida*). مجله تحقیقات تولیدات گیاهی، ۱۹۰(۳): ۲۰۲-۱۹۳.

سعادت‌فر، امیر، توسلیان، ایرج، حسین‌جعفری، سمیرا. ۱۳۹۷. تعیین رویشگاه بالقوه گیاه دارویی آنغوزه (*Ferula assafoetida*) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه چترود، کرمان). سنجش از دور و GIS در منابع طبیعی، ۹(۴)، ۳۳: ۱۵۵-۱۳۹.

عبدلپور، سید احمد، محمدی، حسین ، شمسی‌پور، علی اکبر، ۱۳۹۹. قابلیت اراضی کشت و توسعه گیاه دارویی آنغوزه با رویکرد اقلیمی مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد. جغرافیای طبیعی ۴۸. ۱۷-۳۲.

فخیمی، الهام، خداقلی، مرتضی، یوسفی، صالح، صبوحی، راضیه، شیرمردی، حمزه‌علی، قطره، سعید، ۱۴۰۲. بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر گستره حال و آینده درمنه کوهی (*Artemisia aucheri* Boiss.) در رویشگاه‌های مرتعی زاگرس مرکزی، استان چهارمحال و بختیاری. مرتع. ۱۴۰۲; ۱۷ (۴): ۴۹۸-۵۱۲.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

مولایی، مریم، قربانی، اردوان، معمری، مهدی، معتمدی، جواد، حزباوی، زینب، ۱۴۰۳. پیش‌بینی پتانسیل توزیع گونه درمنه بابونه‌ای (*Artemisia chamaemelifolia*) در استان اردبیل، تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران, ۲۲(۱), ۱۰۸-۹۲.

مومنی دمنه، جواد، اسماعیل‌پور، یحیی، غلامی، حمید، فراشی، آرزو، ۱۴۰۰. پیش‌بینی مناطق مناسب رویش گونه آنغوزه (*Ferula foetida-assa* L.) در شمال شرق ایران با استفاده از مدل بیشینه آنتروپی. نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۸۲ شماره ۳، ۲۷۲-۲۹۸.

مومنی دمنه، جواد، تاج‌بخش فخرآبادی، محمد، احمدی، جلیل، صفدری، علی‌اکبر، ۱۴۰۱. مقایسهٔ مدل‌های پراکندگی گونه‌ای در تعیین چشم‌انداز رویشگاه گونهٔ پستهٔ وحشی در استان خراسان رضوی. نشریه علمی پژوهشی مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۴): ۷۷-۹۲.

Brambilla, M., Rubolini, D., Appukuttan, O., Calvi, G., Karger, D.N., Kmecl, P., Miheli˘c, T.; Sattler, T.; Seaman, B. Teufelbauer, N. 2022. Identifying climate refugia for high-elevation Alpine birds under current climate warming predictions. Glob. Change Biol., 28, 4276–4291.

Castillo, A.E., Peña, L.S., Delgado, S.G. 2017. Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): Nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. Estud. Demográficos Urbanos, 32, 669–693.

Cheng, R., Wang, X., Zhang, J., Zhao, J., Ge, Z., Zhang, Z. 2022. Predicting the Potential Suitable Distribution of Larix principis-rupprechtii Mayr under Climate Change Scenarios. Forests, 13, 1428. https://doi.org/10.3390/f13091428.

Duan, X., Li, J., Wu, S. 2022. MaxEnt Modeling to Estimate the Impact of Climate Factors on Distribution of *Pinus densiflora*. Forests, 13, 402. https://doi.org/10.3390/f13030402.

Elith, J., & Franklin, J. (2013). Species distribution modeling. In *Encyclopedia of Biodiversity: Second Edition* (pp. 692-705). Elsevier Inc..

Elith, J., Ferrier, S., Huettmann, F., Leathwick, J. 2005.The evaluation strip: A new and robust method for plotting predicted responses from species distribution models. Ecol. Model. 186, 280–289.

https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.12.007.

Fassou, G., Kougioumoutzis, K., Iatrou, G., Trigas, P., Papasotiropoulos, V. 2020. Genetic Diversity and Range Dynamics of Helleborusodorus subsp. cyclophyllus under Different Climate Change Scenarios.Forests,11,620. https://doi.org/10.3390/f11060620.

Gao, M., Tim, N., Zhang, C., Li, F., Wu, Y., Luo, Q., Wang, Z., Liu, L., Sa, R. 2024. Modelling the potential distribution area of Populus davidiana in China based on the Biomod2. JOURNAL OF NANJING FORESTRY UNIVERSITY, 48(2), p.247. https://doi.org/10.12302/j.issn.1000-2006.202205022.

Hamann, A., & Wang, T. (2006). Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. *Ecology*, *87*(11), 2773-2786.

Hadley, W. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis; Springer: New York, NY, USA, p. 260.

Hao, T., Elith, J., Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J.J. 2019. A review of evidence about use and performance of species distribution modelling ensembles like BIOMOD. Divers. Distrib., 25, 839–852. https://doi.org/10.1111/ddi.12892.

Hoban, S., Dawson, A, Robinson, J.D., Smith, A, B., Strand, A, E. 2019. Inference of biogeographic history by formally integrating distinct lines of evidence: Genetic, environmental niche and fossil. Ecography, 42, 1991–2011. https://doi.org/10.1111/ecog.04327.

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., ... & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific data, 4(1), 1-20.

Lawler, J. J., White, D., Neilson, R. P., & Blaustein, A. R. (2006). Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability. *Global change biology*, *12*(8), 1568-1584.

Mestre, F., Barbosa, S., Garrido-García, J. A., Pita, R., Mira, A., Alves, P. C., ... & Beja, P. (2022). Inferring past refugia and range dynamics through the integration of fossil, niche modelling and genomic data. *Journal of Biogeography*, *49*(11), 2064-2076. https://doi.org/10.1111/jbi.14492.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

López-Pujol, J. (2018). Identifying long-term stable refugia for relict plant species in East Asia. Nature communications, 9(1), 4488.

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD–a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, *32*(3), 369-373.

Waldron, A., Mooers, A. O., Miller, D. C., Nibbelink, N., Redding, D., Kuhn, T. S., ... & Gittleman, J. L. (2013). Targeting global conservation funding to limit immediate biodiversity declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(29), 12144-12148.

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.

Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Sayre, R., Trabucco, A., Zomer, R. 2013. A high-resolution bioclimate map of the world: A unifying framework for global biodiversity research and monitoring. Glob. Ecol. Biogeogr., 22, 630–638. https://doi.org/10.1111/jbi.14492.

Naimi, B., Hamm, N. A., Groen, T. A., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? Ecography, 37(2), 191-203.

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Schapire, Maximum entropy modeling of species geographi distributions. Ecol.Model., 90, 231–259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.

Rana, S. K., Rana, H. K., Ghimire, S. K., Shrestha, K. K., & Ranjitkar, S. (2017). Predicting the impact of climate change on the distribution of two threatened Himalayan medicinal plants of Liliaceae in Nepal. *Journal of Mountain Science*, *14*(3), 558-570.

Shrestha, U. B., Sharma, K. P., Devkota, A., Siwakoti, M., & Shrestha, B. B. (2018). Potential impact of climate change on the distribution of six invasive alien plants in Nepal. *Ecological Indicators*, *95*, 99-107.

Sillero, N., Arenas-Castro, S., Enriquez-Urzelai, U., Vale, C. G., Sousa-Guedes, D., Martínez-Freiría, F., ... & Barbosa, A. M. (2021). Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, 456, 109671.

Smith, A. B., Godsoe, W., Rodríguez-Sánchez, F., Wang, H. H., & Warren, D. (2019). Niche estimation above and below the species level. *Trends in ecology & evolution*, 34(3), 260-273.

Song, H., Ordonez, A., Svenning, J. C., Qian, H., Yin, X., Mao, L., ... & Zhang, J. (2021). Regional disparity in extinction risk: Comparison of disjunct plant genera between eastern Asia and eastern North America. Global Change Biology, 27(9), 1904-1914.

Sood, R. (2020). Asafoetida (*Ferula asafoetida*): A high-value crop suitable for the cold desert of Himachal Pradesh, India. Journal of Applied and Natural Science, 12(4), 607.

Tang, C. Q., Matsui, T., Ohashi, H., Dong, Y. F., Momohara, A., Herrando-Moraira, S., ... &

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]