Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Applying Ensemble Modeling for Species Distribution Forecasting of *Ferula assa-foetida* in Southern Iran

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

1. PhD. candidate in Desert Region Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Corresponding author; Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran. E-mail: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir
3. Prof., Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
4. Assistant Prof., Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2025; Vol 18, Issue 3

Article history:
Received: 10.07.2024
Revised: 26.08.2024
Accepted: 31.08.2024

Keywords:
Ensemble model, species distribution, Biomod2, topography.

Abstract

Background and objectives: Changing environmental conditions and climate change significantly affect the geographical distribution of plant species. Accurate weather forecasting is essential for the sustainable production of valuable plant species, crucial for protecting soil and vegetation resources. Given the high costs of field surveys, distribution prediction modeling serves as an effective method for the proper exploitation and conservation of special medicinal plants. This research aims to predict the distribution of Ferula assa-foetida L. using an ensemble modeling approach to manage the habitat of this valuable plant species.

Methodology: Sampling for the presence of F. assa-foetida was conducted during the 2019 growing season using GPS in the study area. Environmental and climate data were obtained from relevant websites and processed using the RUDMM package to eliminate collinearity. From 28 variables, 14 were selected and modeled without collinearity issues. Twelve models (ANN, FDA, CTA, GLM, GAM, GBM, MARS, SARE, RF, XGBOOST, MaxENT, MaxNET) were used in this study. These models were initially evaluated individually based on ROC and TSS curves, then combined for continued modeling with TSS above 0.94. The relative significance of variables was assessed in both single and combined models. Four algorithms (EMca, EMci, EMmean, EMcv) were employed in the ensemble models. The study utilized R programming software and the Biomod2 package.

Results: Detailed examination of single function models indicated that the RF model (Random Forest) had high accuracy, and the combined models with TSS above 0.94 provided the basis for this research. The relative significance of variables showed that bio19, bio18, bio4, and earth-clay were the most important for modeling. Bio19, representing the impact of the coldest season rainfall, contributed 40%, with minimal impact from the slope direction (0.06%). Precipitation's total contribution rate was 13.1%, temperature's total contribution rate was 2.7%, NDVI (vegetation index) total contribution rate was 0.4%, soil change total contribution rate was 4.5%, and topography's (SRTM2) total contribution rate was 0%. The habitat suitability analysis provided clear maps from four combined model algorithms, showing high suitability for species growth in

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

high and mountainous areas, specifically in northern Hormozgan and southern Fars provinces, and Lar city.
Conclusion: The consensus models outperformed single models in representing variable contributions, response curves, and habitat suitability for F. assa-foetida. Ensemble modeling produced high-resolution maps predicting species distribution probabilities. The findings are crucial for the conservation, introduction, and optimal use of F. assa-foetida in the study area, addressing gaps in previous research.

Cite this article: Iranmanesh, M., Y. Esmaeilpour, H. Gholami, N. Moradi, 2025. Applying Ensemble Modeling for Species Distribution Forecasting of Ferula assa-foetida in Southern Iran. Journal of Rangeland, 18(3): 451-466.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

استفاده از مدل‌سازی اجماعی جهت پیش‌بینی توزیع گونه‌ای آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.)، در بخش‌هایی از جنوب ایران

مهدیه ایرانمنش[۱]، یحیی اسماعیلپور[۲*]، حمید غلامی[۳]، نوازاله مرادی[۴]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایان‌نامه: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

۳. استاد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۴. استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۳؛ جلد ۱۸، شماره ۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۴/۲۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

واژه‌های کلیدی:
مدل اجماعی،
پراکنش گونه‌ای،
Biomod2،
توپوگرافی.

چکیده

سابقه و هدف: یکی از تأثیرات مهم تغییر شرایط محیطی و تغییر اقلیم بر گیاهان، تغییر محدوده جغرافیایی آنها است. پیش‌بینی تأثیر آب و هوا بر توزیع گونه‌های گیاهی ارزشمند برای حفاظت منابع خاک و پوشش گیاهی ضروری است. با توجه به طاقت فرسا بودن و افزایش هزینه‌های بررسی میدانی، مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای بهترین روش جهت بهره‌برداری مناسب و صیانت از گیاهان خصوصا گیاهان دارویی ارزشمند است. از این رو هدف از این تحقیق پیش‌بینی پراکنش گونه آنغوزه با مدل ترکیبی جهت مدیریت زیستگاه این گونه گیاهی ارزشمند است.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری از نقاط حضور گونه آنغوزه در سال ۱۳۹۹ فصل‌های رویش این گونه با کمک GPS در منطقه مورد مطالعه انجام شد. داده‌های محیطی و داده‌های اقلیم از وبگاه‌های مربوط به آن‌ها گرفته سپس با استفاده از پکیج RUSDM مشکل هم‌خطی داده‌ها برطرف شد. از ۲۸ متغیر ۱۴ متغیر فاقد مشکل هم‌خطی انتخاب و مدل‌سازی انجام شد. در مطالعه حاضر از ۱۲ مدل استفاده (ANN, FDA, CTA, GLM, GAM, GBM, MARSE, SARE, RF, XGBOOST, MaxENT,MaxNET) شد. این مدل‌ها در ابتدا به صورت تک سنجیده و سپس بر اساس منحنی‌های ROC و TSSمورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس مدل‌ها ترکیب و با TSSبالای ۰/۹۴ مدل‌سازی ترکیبی ادامه یافت. درصد اهمیت نسبی متغیرها هم در مدل‌های تک و هم در مدل‌های ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نتایج مدل‌های ترکیبی اساس بررسی نتایج این پژوهش قرار گرفت. در مدل‌های ترکیبی از چهار الگوریتم EMca, EMci, EMmean, EMcv استفاده شد. در ادامه فرایند مدل‌سازی با چهار الگوریتم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی R و پکیج Biomod2 استفاده شد.

نتایج: نتایج به‌دست آمده از بررسی دقت مدل‌های تک براساس معیارهای ROC وTSS مدل RF (جنگل تصادفی) دقت بالایی را نشان داد و دقت مدل‌های ترکیبی با TSS بالا ۰/۹۴ اساس کار این پژوهش قرار گرفت. درصد اهمیت نسبی متغیرها نشان داد bio19, bio18, bio4 و soil-clay (رس خاک) بیشترین اهمیت را در مدل‌سازی دارند. Bio19 بارش سردترین فصل به میزان ۴۰ درصد بیشترین تاثیر و جهت شیب ۰/۰۶ کم‌ترین تاثیر را نشان می‌دهد. می‌توان گفت این گونه از نظر bio19 به میزان زیادی اختصاصی عمل می‌کند. بنابراین

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

bio19 برای مدل‌سازی این گونه ارزشمند است. نرخ مشارکت کل بارش ۱۳/۱درصد، نرخ مشارکت کل دما ۲/۷ درصد، نرخ مشارکت کل شاخص (شاخص نرمال شده پوشش گیاهی) NDVI ۰/۴ درصد، نرخ مشارکت کل متغیر خاک ۴/۵ درصد و نرخ مشارکت کل (توپوگرافی) SRTM ۰/۲ درصد است، در این مقادیر احتمال حضور گونه آنغوزه بیشتر است. سپس بررسی مطلوبیت زیستگاه این گیاه، نقشه واضحی از ۴ الگوریتم مدل ترکیبی به‌دست آمد. نتایج نشان داد رویش این گونه در قسمت‌های مرتفع و کوهستانی دارای بارش زیاد است متناسب است. این نتایج در قسمت‌های شمال هرمزگان و جنوب استان فارس شهرستان لار است این قسمت‌ها دارای آب و هوای گرم و منتهی به کوهستان است.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد مدل‌های اجماعی عملکرد بهتری برای هر یک از اهمیت نسبی متغیرها، منحنی‌های پاسخ و مطلوبیت زیستگاه گونه آنغوزه، نسبت به مدل‌های تک دارند. نتایج مدل‌سازی مجموعه ما نقشه‌های با وضوح بسیار بالا از احتمال وقوع گونه‌ها را پیش‌بینی کرد. نتایج ما مبنای علمی مهمی برای حفاظت، معرفی و استفاده بهینه برای پیش‌بینی امکان این گونه در منطقه مورد مطالعه با توجه به اینکه تاکنون در این مناطق به این موضوع پرداخته نشده، فراهم می‌کند.

استناد: ایرانمنش، م.، ی. اسماعیلپور، ح. غلامی، ن. مرادی، ۱۴۰۳. استفاده از مدل‌سازی اجماعی جهت پیش‌بینی توزیع گونه‌ای آنغوزه-*Ferula assa foetida* L.) در بخش‌هایی از جنوب ایران. مرتع، ۱۸(۳): ۴۵۱-۴۶۶.

DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران © نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

مقدمه

تغییر اقلیم سبب ایجاد تغییرات در دامنه بردباری و دامنه انتشار گیاهان می‌شود. با توجه به پیچیدگی اکوسیستم‌های طبیعی و پدیده تغییر اقلیم، به منظور بررسی و کنترل و پیامدهای تغییر اقلیم بر آشیان بالقوه گونه‌های گیاهی از مدل‌های پراکنش گونه‌ای استفاده می‌شود (۷). شناسایی دقیق رویشگاه بالقوه گونه و کاشت آن در مناطق مشابه، می‌تواند تا حدود زیادی موفقیت طرح را تضمین و به این ترتیب شرایط محیط را به شرایط قبل از تخریب نزدیک نماید (۱). آنغوزه با نام علمی *Ferula assa-foetida L.* یک گیاه دارویی با ارزش بالا است. از دوران ماقبل تاریخ به‌عنوان یک چاشنی رایج در غذاهای هندی و بخشی ضروری از طب سنتی در سیستم‌های آیورودا و یونانی استفاده می شده است. به‌دلیل فیتوشیمی منحصر به فرد و فعالیت دارویی آن در صنعت داروسازی مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، این گیاه پتانسیل بالایی برای تنوع بخشیدن به منابع درآمد کشاورزان و بهبود معیشت آنها به‌ویژه در حاشیه هیمالیا دارد (۱۴). با این حال، کشت این گیاه با چالش‌های متعددی مانند جوانه‌زنی کم و بقای گیاه، فاز خواب طولانی، شرایط اقلیمی خاص کشاورزی و روش‌های ضعیف استخراج صمغ اولئو مانع می‌شود. علاوه بر این، مطالعات محدود بر روی بیولوژی تولید مثل و فناوری اصلاحی متمرکز شده است، که اساس هر برنامه بهبود ژنتیکی و توسعه تنوع است (۱۴). امروزه استفاده از داروهای گیاهی به‌دلیل اثربخشی و کمترین عوارض جانبی رایج شده است. حتی در حال حاضر، حدود ۸۰ درصد از جمعیت جهان همچنان به استفاده از داروهای سنتی اعتقاد دارند و آنها را به‌عنوان اولین انتخاب خود انتخاب می‌کنند (۱۴). بنابراین می‌توان به بهره‌برداری غیرمجاز از گیاهان دارویی اشاره کرد. آنغوزه یکی از گیاهان سنتی و چندساله با خواص دارویی است که از قدیم الایام برای بشر شناخته شده است. این گیاه در درمان هضم غذا، خواص ضد میکروبی، ضد التهابی، درمان عفونت های قارچی معده، درمان کزاز، یرقان و غیره کاربرد دارد و به همین دلیل گیاه آنغوزه یکی از مهم‌ترین گیاهان محسوب می‌شود. گیاهان دارویی مهم به‌دلیل برداشت‌های مکرر آن‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند (۲۵). الگوهای مختلف به‌دلیل عوامل متعددی از اثرات محیطی، اثرات فعالیت های انسانی و رقابت بین گونه‌ها می‌توانند متفاوت باشند (۲۵). در بیشتر موارد، گیاهان در تعادل با شرایط آب و هوایی محلی باقی می‌مانند. با این حال، دماهای شدید و تغییرات الگوهای آب و هوا به‌دلیل تغییرات آب و هوایی می‌تواند منجر به افزایش استرس بر گیاهان و در نتیجه کاهش رشد شود (۱۱). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDMs) اغلب برای درک روابط محیطی و پیش‌بینی توزیع گونه‌ها در فضاهای محیطی و جغرافیایی استفاده می‌شوند. روش‌های SDM از روش‌های صرفاً همبستگی (به‌عنوان مثال، ارزیابی‌های آماری روابط بین حضور گونه‌ها و مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی) تا روش‌های کاملاً مبتنی بر فرآیند (یعنی روابط اکولوژیکی صریح بین شرایط محیطی و عملکرد ارگانیسم‌ها) را شامل می‌شود (۳۰). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDM) یک رویکرد آماری ارزشمند برای درک توزیع گونه‌ها و شناسایی اثرات بالقوه تغییرات محیطی یا تصمیمات مدیریتی بر روی گونه‌ها هستند، مدلهای توزیع پراکنش گونه در یک مقیاس کوچک به‌خوبی جواب می‌دهند که می‌توان نتایج را در اختیار مدیران قرار داد جهت مدیریت بهتر مکانهای مورد نظر استفاده نمایند (۹). یک راه حل این است که مجموعه‌هایی (به‌عنوان مثال، ترکیبی) از پیش بینی ها از مدل‌های توزیع پراکنش گونه‌ای های موجود ایجاد نماییم (۲۸). جعفریان و همکاران (۲۰۲۴) بیان کردند، مدل اجماعی نسبت به مدل‌های مجزا و از بین مدل‌های مجزا نیز مدل جنگل تصادفی بهترین عملکرد را دارا است. Biomod2 شناخته‌شده‌ترین مجموعه نرم‌افزار توسعه‌یافته در جامعه مدل‌های توزیع گونه‌ای، به‌طور رایگان در دسترس است (۲۶) (۲۷). معرفی Biomod: یکی از محبوب‌ترین پلتفرم‌ها برای مدل‌سازی تک و گروهی است (۲۸). با توسعه سریع نظریه و فناوری مدل‌سازی توزیع گونه‌ها، Biomod به ابزاری قدرتمند در چندین کاربرد، به‌ویژه زیست‌شناسی و حفاظت تبدیل شده است (۳۰). Biomod یک بسته رایانه ای برای پیش بینی اجماع توزیع جغرافیایی گونه‌ها است که برای اولین بار چندین بار از یک مدل اکولوژیکی استفاده کرده است، Biomod2 مانند یک کتابخانه در R است که توانایی مقایسه و ترکیب R با سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارد (۱۷).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

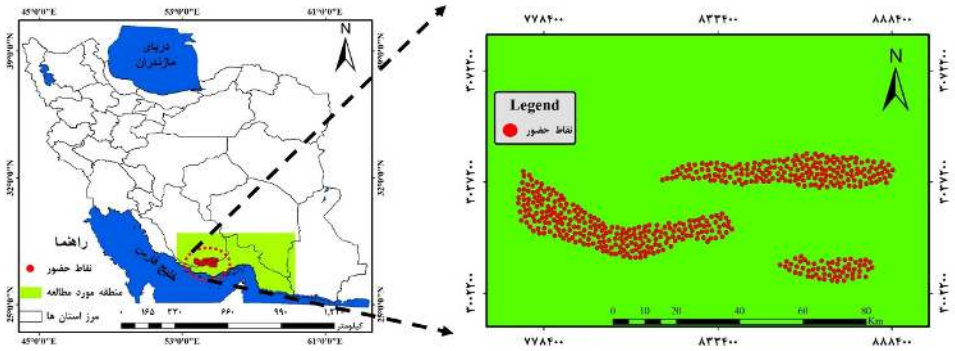
[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

هدف از این پژوهش مدل‌سازی ترکیبی پیش‌بینی پراکنش گونه دارویی آنغوزه، تحت شرایط اقلیم و عوامل محیطی در منطقه مورد مطالعه است. به‌دلیل در معرض خطر قرار گرفتن این گونه در اثر بهره‌برداری‌های بی رویه در جهت افزایش درآمد و از آنجایی که تاکنون در منطقه مورد مطالعه به این گیاه پرداخته نشده، مدل‌سازی پیش‌بینی این گونه می‌تواند راه حل مفیدی برای حفاظت و استفاده درست از این گونه ارزشمند باشد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخش‌هایی در جنوب ایران است. دارای مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۲۵ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این مناطق دارای آب و هوای گرم و باران‌هایی با شدت زیاد و ناگهانی هستند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکندگی نقاط حضور گونه آنغوزه

داده‌های حضور گونه آنغوزه

نقاط حضور این گونه از اسفند تا اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹با استفاده از بازدیدهای میدانی انتخاب و در مجموع ۵۰۳ نقطه با استفاده از GPS (سیستم موقعیت یاب جهانی) ثبت شد. فاصله این نقاط بیش از حداقل فاصله (۱۰ کیلومتر در این تحقیق) است. با پرهیز از خطای نمونه‌برداری و همبستگی بین نقاط و تعیین زیستگاه قابل توجه و قابل بهره برداری گونه هدف، نقاط حضور و مناطق غیرمفید (شبه عدم حضور) در فرآیند ساخت مدل، فرآیند ایجاد شبه نقاط غیبت گونه در ۵ تکرار انجام شد. محدوده‌ای برای نقاط شبه غیبت به طور تصادفی در بسته biomod2 انتخاب شد. از نقاط حضور به‌عنوان مبنایی برای کار بیشتر استفاده شد.

داده های محیطی، آب و هوا و تجزیه و تحلیل همبستگی

با توجه به هدف ما برای پیش بینی و تخمین مناسب بودن توزیع آنغوزه در آینده تحت تغییرات آب و هوایی و سایر عوامل محیطی، در مجموع از ۱۹ داده زیست اقلیمی استفاده شد (جدول ۱) که این داده‌ها با وضوح ۱۰ کیلومتر (۳۰ ثانیه قوس) از پایگاه داده جهانی آب و هوا: https://www.worldclim.org تهیه شد (۱۳). علاوه بر متغیرهای اقلیمی، ۹ متغیر محیطی دیگر شامل شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) است که از وب‌سایت http://www.earthexplorer.usgs.gov در بازه‌های زمانی ۳۰ روزه و با وضوح ۱ کیلومتر مربع از سنسور ماهواره‌ای MODIS دانلود شد. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ماموریت توپوگرافی رادار شاتل جهانی، مدل جهانی ارتفاع رقومی سطح زمین با وضوح ۱ کیلومتر (DEM) گرفته شد. داده‌های خاک از شبکه‌های خاک که سیستمی برای نقشه‌برداری دیجیتالی بر اساس شبکه جهانی اطلاعات خاک World Wide Web of Soil Informations (WoSIS) https://soilgrids.org است در عمق ۵-۰ خاک اتخاذ گردید. تمامی داده‌های مورد استفاده با اندازه پیکسل تقریبی یک کیلومتر انتخاب و بر اساس یکی از لایه‌های Bio ریسمپل شدند. سپس توسط تابع vifstep در بسته R usdm (۱۹) برای کاهش چند خطی بودن بین

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

متغیرهای زیست اقلیم و متغیرهای محیطی استفاده شد، در نهایت متغیرهای همبسته قوی با VIF10 > حذف شدند. (vifstep (myExpl, th=10, method = "pearson")

راه‌اندازی و ساخت مدل های توزیع گونه

در این مطالعه ۱۲ مدل پراکنش گونه مورد استفاده قرار گرفت و در نرم‌افزار R در بسته Biomod2 نسخه ۴.۲.۵ (جدول ۲) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ۸ متغیر اقلیمی و ۶ متغیر محیطی در تنظیم و ساخت پراکنش گونه آنغوزه گنجانده شد. بهترین پارامترهای هر الگوریتم از طریق تابع تنظیم Biomod تنظیم شد، که چندین مدل را با پارامترهای مختلف اجرا و هر کدام را با آمار مهارت واقعی TSS و ROC ارزیابی کرد. مدل‌ها در ۱۰ تکرار ساخته شدند، یعنی در مجموع ۱۲۰ مدل تک تولید شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها، معیارهای ارزیابی مستقل پس از پیاده‌سازی مدل‌ها به منظور ارائه نقشه نهایی و ارزیابی دقیق‌تر حضور گونه‌ها، از تکنیک مدل اجماعی یا ترکیبی استفاده شد. مدل‌های ترکیبی را با استفاده از ۴ روش محبوب در بین کاربران biomod2 ساخته شد (۱۹). EMmean (Ensemble models mean): میانگین احتمالات در مقایسه با مدل های انتخاب شده است. EMcisup (Ensemble models Confidence interval): فاصله اطمینان حول میانگین احتمالات مدل های انتخاب شده است. EMcv (Ensemble models Coefficient of variation): ضریب تغییرات (sd / میانگین) احتمالات بر روی مدل های انتخاب شده این مدل مقیاس بندی نشده است. این مدل مانند سایر مدل‌های گروه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت، اگرچه تفسیر آن به وضوح متفاوت خواهد بود. CV یک اندازه گیری عدم قطعیت است و نه اندازه گیری احتمال وقوع. اگر CV نمره ارزیابی بالایی دریافت کند، به این معنی است که عدم قطعیت در جایی که گونه مشاهده می‌شود زیاد است (که ممکن است ویژگی خوبی برای مدل نباشد). EMca (Ensemble models Confidence interval alpha): یک مقدار عددی مربوط به سطح معناداری برای تخمین فاصله اطمینان است. برای متعادل کردن سوگیری احتمالی تولید شده توسط الگوریتم‌های پیاده‌سازی، ما فقط مدل‌هایی را با مقدار TSS (۲) بالای ۰/۹۴ حفظ کردیم.

جدول ۱: متغیرهای زیست اقلیم، اهمیت نسبی در مدل‌های گروهی و مدل‌های فردی

ID	متغیرهای اقلیمی	واحد	میانگین اهمیت٪ مدل های فردی	میانگین اهمیت٪ مدل های ترکیبی
Bio1	میانگین دمای سالانه	C°		
Bio2	میانگین محدوده روزانه (میانگین ماهانه (حداکثر دما - حداقل دما))	C°		
Bio3	همدما (BIO2/BIO7) (×۱۰۰)	/	۰/۸۸	۱/۳۲
Bio4	دمای فصلی (انحراف استاندارد × ۱۰۰)	°C	۱/۶۷	۱۰/۵۰
Bio5	حداکثر دمای گرمترین ماه	°C	۰/۶۳	۳/۱۳
Bio6	حداقل دمای سردترین ماه	°C		
Bio7	محدوده دما سالانه (BIO5-BIO6)	°C		
Bio8	میانگین دمای مرطوب ترین فصل	°C		
Bio9	میانگین دمای خشک ترین فصل	°C	۰/۹۷	۳/۶۶
Bio10	میانگین دمای گرمترین فصل	°C		
Bio11	میانگین دمای سردترین فصل	°C		
Bio12	بارش سالانه	mm		
Bio13	بارش مرطوب ترین ماه	mm		
Bio14	بارش خشک ترین ماه	Mm	۲/۱۹	۱/۹۰
Bio15	بارش فصلی (ضریب تغییرات)	/	۱/۳۵	۴/۹۱
Bio16	بارش مرطوب ترین فصل	Mm		
Bio17	بارش خشک ترین فصل	Mm		
Bio18	بارش گرم ترین فصل	Mm	۳/۲۸	۹/۹۱
Bio19	بارش سردترین فصل	Mm	۸/۵	۴۰/۹۰

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

جدول ۲: مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش

نام فارسی مدل‌ها	نام کامل مدل‌ها	نام مخفف مدل‌ها
شبکه‌های عصبی مصنوعی	Artificial Neural Network	ANN
مدل خطی تعمیم یافته	Generalized Liner Model	GLM
مدل افزایشی تعمیم یافته	generalized additive model	GAM
جنگل تصادفی	Random Forest	RF
رگرسیون تطبیقی چند متغیره	Adaptive Regression Spline Multivariate	MARS
تجزیه و تحلیل توصیفی انعطاف پذیر	Flexible Denotative Analysis	FDA
تجزیه و تحلیل درخت طبقه بندی	Classification Tree Analysis	CTA
روش تقویت عمومی	Generalized Boosting Method	GBM
مدل آنتروپی حداکثر	Maximum entropy model	MaxENT
اجرای جدید حداکثر آنتروپی	Maximum entropy new implementation	MaxNET
افزایش گرادیان شدید	Extreme gradient boosting	XGBOOST
پوشش محدوده سطحی	Surface Range Envelope	SRE

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل همبستگی داده‌های اقلیمی و محیطی نشان داد، ۱۴ متغیر از ۲۸ متغیر ورودی دارای مشکلات هم‌خطی و ۱۴ متغیر بدون مشکل همخطی تعیین سپس ساخت مدل انجام شده است (شکل۲).

دقت مدل‌های تکی و ترکیبی

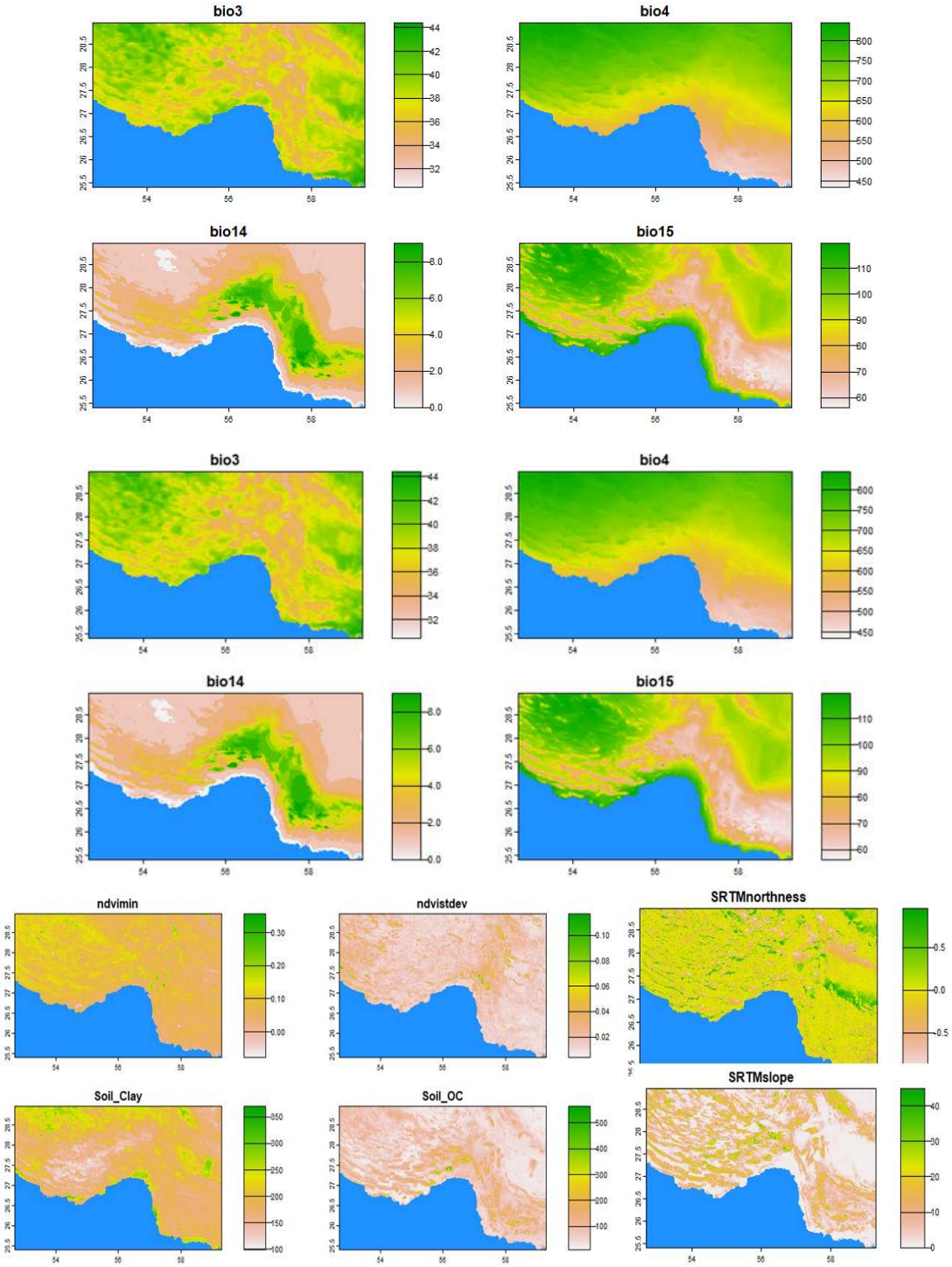
دقت مدل های منفرد بر اساس ROC و TSS در (شکل ۳) نشان داده شده است. این نتایج به مدل برگزیده RF اشاره دارد، بالاترین میانگین ROC (۰/۹۶) و TSS (۰/۹۹) را به‌دست آورده است. اکثر مدل‌های منفرد از کیفیت بالایی برخوردار بودند، این امر نشان می‌دهد اثر پیش‌بینی مدل عالی بود و نتایج پیش‌بینی بسیار دقیق و قابل اعتماد بودند. برای اطمینان بیشتر از دقت و قابلیت اطمینان بالا، ما مدل‌های اجماعی یا ترکیبی را با TSS بالای ۰/۹۴ حفظ کردیم و آنها را برای تجزیه و تحلیل پیش‌بینی دقت بالاتر جمع‌آوری کردیم.

اهمیت متغیرهای محیطی مدل شده

همانطور که در (شکل ۴) نشان داده شده، با توجه به چهار الگوریتم (EMmean, EMca,EMci,EMcv) استفاده شده در مدل‌های ترکیبی (bio19، bio4، bio18 و رس خاک) مهم‌ترین متغیرها و (NDVIstdev) انحراف معیار شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و (SRTMnorthness) جهت شیب کم‌ترین اهمیت را دارند. Bio19 ۴۰ درصد بیش‌ترین سهم را در مدل‌سازی داشته است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

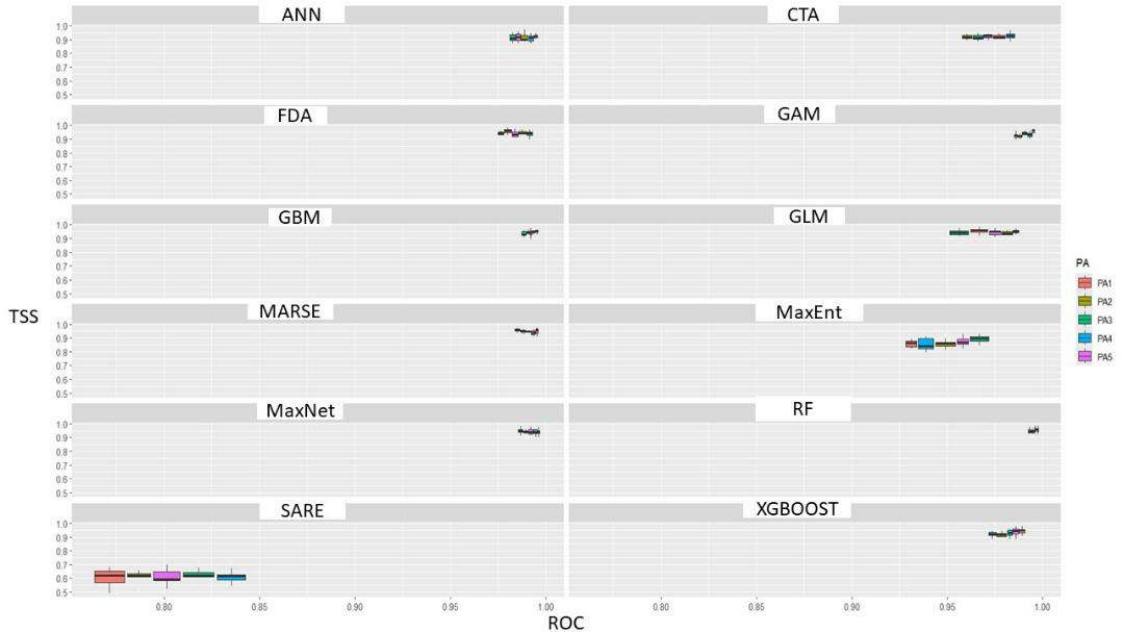
[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]



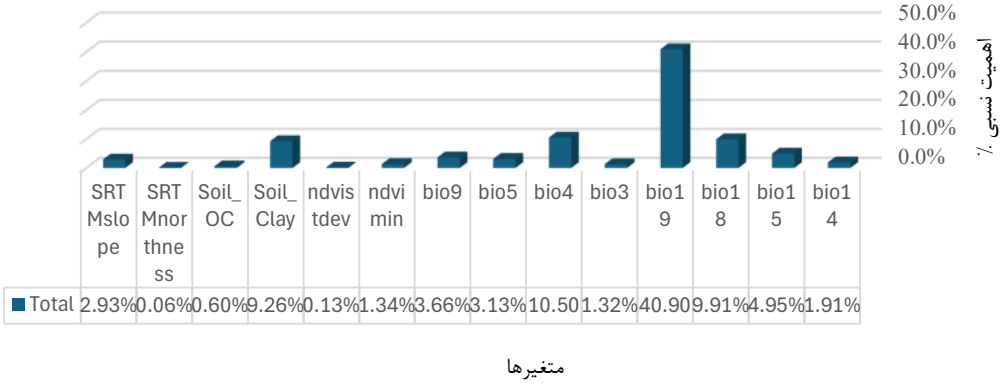
شکل ۲: متغیر از ۲۸ متغیر ورودی فاقد مشکل همخطی

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]



شکل ۳: دقت در مدل سازی زیستگاه آنغوزه



شکل ۴: درصد اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل‌سازی زیستگاه آنغوزه

شرایط زیست اقلیمی گیاه آنغوزه را می توان با استفاده از طیف مناسبی از متغیرهای آب و هوایی و شرایط محیطی متعدد توصیف نمود، این شرایط را می‌توان با استفاده از منحنی‌های پاسخ مدل نمایش داد. منحنی‌های پاسخ مدل‌های ترکیبی با استفاده از ۴ الگوریتم ترکیبی در پکیج biomod2 به‌دست آمد. اگر الگوریتم‌های Emcv و EMcisup دو حالت بدبینانه و خوشبنانه الگوریتم‌ها در نظر بگیریم و بین EMca و EMmean قرار دارند، می‌توان بر این اساس منحنی‌های پاسخ مدل‌های ترکیبی را توجیه نمود. با توجه به منحنی‌های پاسخ هر ۱۴ عامل استفاده شده در مدل‌سازی، همانطور که مشاهده می‌شود، متغیرهای اقلیمی نسبت به متغیرهای محیطی بر مدل‌سازی گونه آنغوزه تاثیر بیشتری گذاشته است. متغیر bio3 (bio2, bio7*100) در محدوده دمایی است و ماکسیمم گرمترین ماه سال bio5، میزان اهمیت این متغیرها کمتر از ۱۰ درصد است و تاثیری بر مدل‌سازی گونه آنغوزه ندارند. Bio4 معرف تغییرات فصلی دما است و از طریق محاسبه ضریب تغییرات دمای فصلی * ۱۰۰ محاسبه می‌شود. منحنی پاسخ این عامل نشان‌دهنده احتمال حضور گونه در مناطقی با تغییرات زیاد دما در فصل‌های مختلف است که ویژگی طبیعی مناطق

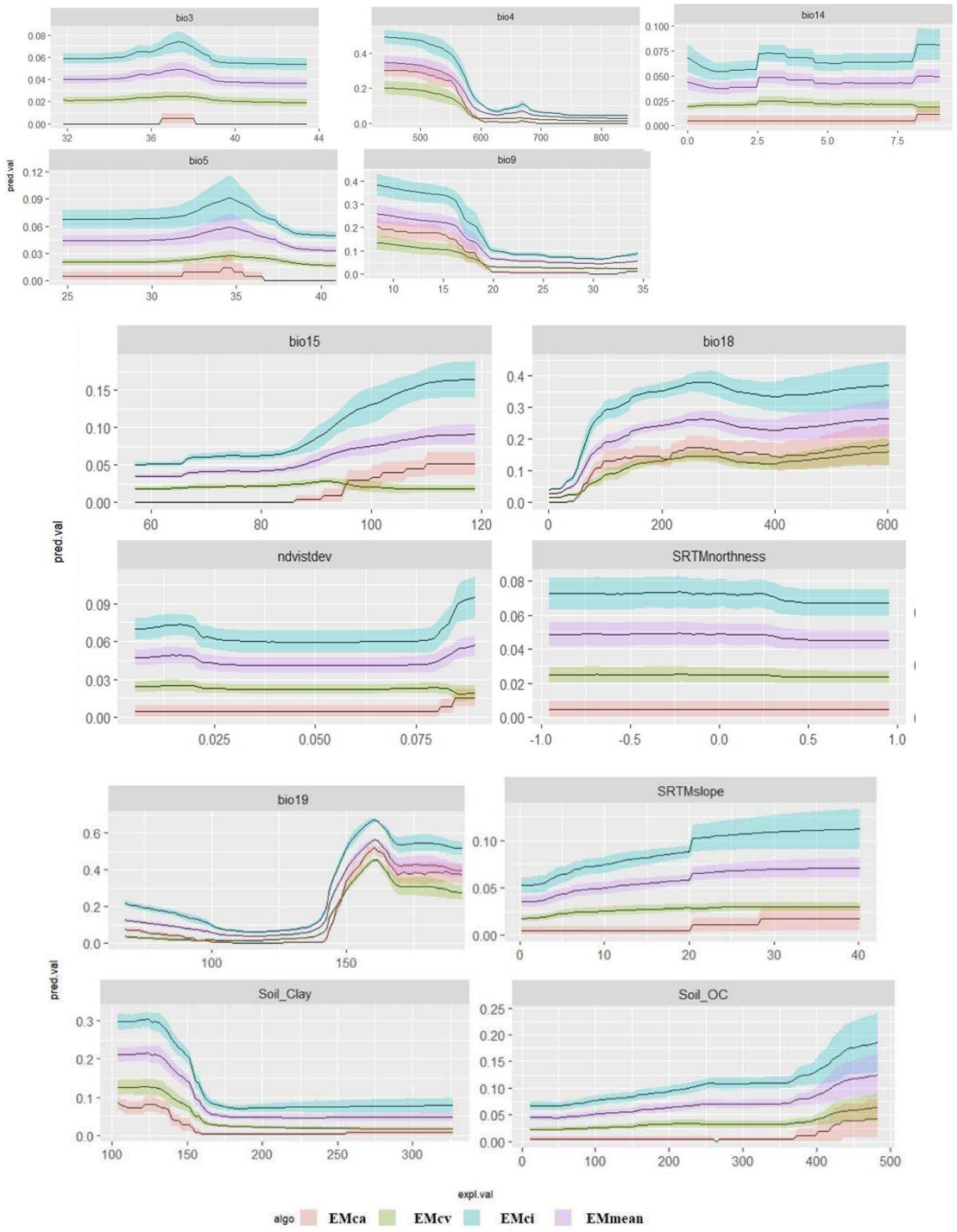
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

مرتفع‌تر است. bio9 میانگین دمای خشک‌ترین فصل، میزان تاثیر کمی برا مدلسازی نشان می‌دهد منحنی‌های EMmean و EMca بین ۱۷.۵ تا ۲۰ درصد بیشترین حضور گونه در این متغیر اقلیمی را نشان می‌دهد، تاثیر ناچیزی است. Bio14 میزان بارندگی در کم بارش‌ترین ماه سال را بیان می‌نماید، تغییرات منحنی ثابت و تقریبا بدون تغییر است، نشان‌دهنده تاثیر ناچیز این متغیر بر مدلسازی است. تاثیر bio15 نسبت به متغیر bio14 بیشتر است، اما تغییرات آن کمتر از ۱۰ درصد و دامنه تغیرات بالایی دارد و نمی‌توان گفت این دو متغیر بر مدل‌سازی این گونه تاثیر داشته‌اند. Bio18بارش گرم‌ترین ماه بین ۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر و نقطه اوج آن ۲۳۰ میلی‌متر است، نشان‌دهنده میزان اهمیت این متغیر در حد ۴۰ درصد است. بارش در ماه‌های گرم می‌تواند باران‌هایی با شدت زیاد، از نظر فراوانی مقدار زیاد و ناگهانی باشد. از این رو در ارتفاعات نشان‌دهنده تاثیر بسزای این متغیر بر احتمال حضور گونه مورد مطالعه در این ماه‌ها است. Bio19 بارش سردترین فصل، تا ۶۰ درصد اثرگذاری براورد برآورد شد، این متغیر با توجه به شکل (۶) تا مقادیر ۱۲۵ میلی‌متر شانس حضور گونه کم است، از ۱۲۵ میلی‌متر به شدت شانس حضور شروع به بالا رفتن می‌کند، تا ۱۶۰ و ۱۷۰ میلی‌متر سپس شانس حضور گونه تقریبا ثابت مانده است. می‌توان گفت این گونه از نظر bio19 به میزان زیادی اختصاصی عمل می‌کند. بنابراین bio19 برای مدل‌سازی این گونه ارزشمند است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، به‌طور کلی متغیرهای بارش نسبت به متغیرهای دمایی عملکرد بهتری داشتند. متغیر (رس خاک) soil-clay تا حدود ۱۵۰ گرم در عمق برای حضور گونه مناسب است و بیشترین احتمال حضور این گونه را دارا است، تغییرات این متغیر از ۱۲۵ - ۳۰۰ ثابت و بدون تغییر است، می‌توان بیان نمود شانس حضور گونه در حدود ۱۰ درصد وجود رس در خاک وجود دارد بنابراین، این گیاه در خاک‌های با رس کمتر و درصد آهک بیشتر رشد بیشتری دارد. (ارگانیک کربن خاک) Soil-OC شانس حضور این گونه در EMmean دارای دامنه اطمینان گسترده از ۰/۰۵- ۰/۱۵ است، از محدوده ۰-۴۰۰ دسی‌متری بر کیلوگرم ثابت و بدون تغییر است. از ۴۰۰-۵۰۰ دسی‌متر تغییرات با دامنه تغییرات بالا وجود دارد. عامل Soil-OC نمی‌تواند عامل مهمی باشد زیرا تغییرات آن زیاد است می‌توان نتیجه گرفت گیاه آنغوزه گیاه مقاومی به شمار می‌آید و می‌تواند در شرایط سخت تنش‌های خاک رویش داشته باشد. شاخص‌های NDVI و SRTM (شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی و عوامل توپوگرافی مانند شیب و جهت شیب) با توجه به منحنی‌های آن‌ها، تغییرات این دو متغیر ثابت با دامنه تغییرات بالا و درصد تغییرات کمتر از ۱۰ درصد است و نمی توانند عامل مهمی برای مدل‌سازی احتمال حضور این گونه به شمار آیند. NDVI به‌عنوان متغیر پیش‌بین مدل بدلیل امکان‌سنجی کاربرد این داده‌ها در مطالعات مرتبط با گونه آنغوزه صورت گرفت. گونه یاد شده از نظر فیزیولوژیک مونوکارپیک بوده و در منطقه مورد مطالعه در فصل گرم و خشک خزان کامل نموده و در سطح زمین قابل مشاهده نیست لذا انتظار می‌رود مناطقی که 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.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]



شکل ۵: منحنی پاسخ ۱۴ متغیر اقلیمی و محیطی با مدل های اجماعی

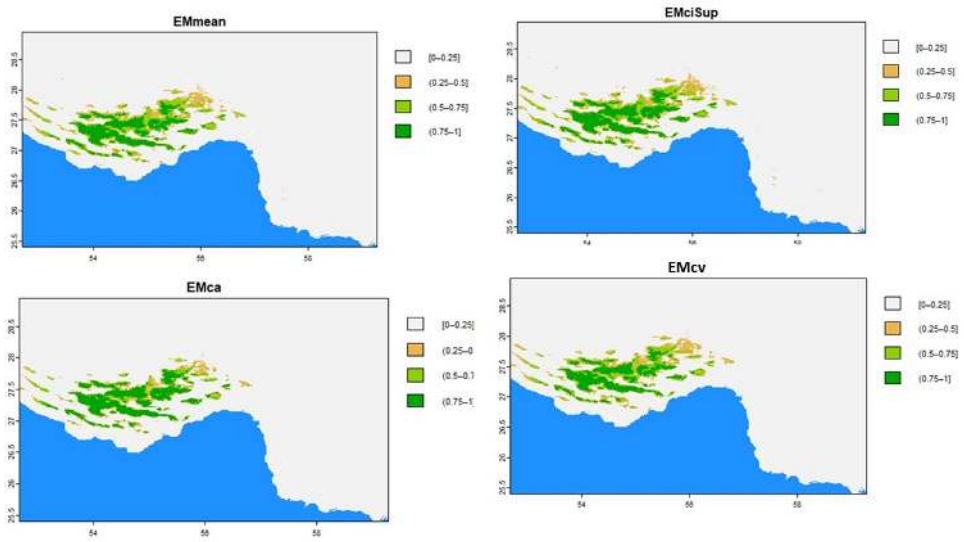
مدل‌سازی ترکیبی تناسب زیستگاه گونه آنغوزه

توزیع بالقوه و محدوده رویشگاه مناسب برای گونه آنغوزه تحت تغییرات آب و هوا به وسیله مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی شد. همانطور که در (شکل ۶) نشان می‌دهد، در بین ۴ الگوریتم مدل‌های ترکیبی، تفاوت چشمگیری وجود ندارد. سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه تقریباً ۸۰ درصد

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

از منطقه فاقد توانایی استقرار این گونه است، و ۲۰ درصد شامل متوسط تا ضعیف است. با توجه به شکل مناطق به رنگ سبز پررنگ بین ۱-۰/۷۵ تناسب عالی و مناطق بی رنگ بین ۰-۰/۲۵ تناسب ضعیف برای حضور این گونه را بیان می‌کنند. مطلوبیت زیستگاه گونه آنغوزه، عمدتاً در ۴ شهرستان هرمزگان (بستک، بندر خمیر، بندر عباس و حاجی آباد) و قسمتی از شهرستان لار در جنوب استان شیراز، دارای بخش کوهستانی کاووس دارای چند رشته کوه است که به شهرستان بستک و شهرستان بندرعباس ختم می‌شود. بنابراین مناسب‌ترین زیستگاه رویش این گونه دارویی در مناطق دارای ارتفاع و کوهستانی، با مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی شد. این مناطق به لحاظ اقلیمی با بارش‌های شدید و مشکلات فرسایش خاک مواجه است.



شکل ۶: نقشه تناسب زیستگاه آنغوزه با مدل‌های اجماعی

بحث و نتیجه‌گیری

گیاه آنغوزه یکی از گیاهان دارویی و دارای خواص دارویی فراوانی است. گیاه دارویی آنغوزه از گیاهان ارزشمند در بین گیاهان دارویی است که با سرمایه‌گذاری در این بخش و همچنین صادرات شیره آنغوزه می‌تواند اشتغال و درآمد زیادی ایجاد کند. این گیاه چندساله در مناطق گرم گزارش شده است. ۱۴ متغیر اقلیمی و محیطی انتخاب و بررسی کارایی مدل‌های مختلف در مطالعه پراکنش گونه آنغوزه نشان داد، همه‌ی مدل‌ها به صورت تکی بر اساس ارزیابی ROC و TSS دارای عملکرد عالی هستند. طبق این معیار، مدل RF در مدل‌های مستقل بیشترین کارایی و مدل SRE کم‌ترین کارایی را داشته است.گائو و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از Biomod2 اثر تغییرات اقلیمی بر گونه Papulus در چین را بررسی کردند، به این نتیجه رسیدند مدل جنگل تصادفی (RF) بالاترین اهمیت در بین مدل‌ها را دارا بوده است. چنگ و همکاران (۲۰۲۲) بیان نمودند، مدل جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی گونه‌ها است. مومنی و همکاران (۲۰۲۱) با مقایسه مدل‌های پراکنش گونه‌ای، گونه پسته وحشی در خراسان، به این نتیجه رسیدند مدل RF با دقت ۱۰۰ درصد به‌عنوان مدل انتخابی است. مدل‌سازی در مورد گونه‌هایی مانند آنغوزه که آشیان محدود دارند با صحت بیشتری نسبت به گونه‌های با آشیان اکولوژیک گسترده صورت می‌گیرد (۱۷).

مدل‌های مختلف به‌دلیل برخورداری از روش‌های متفاوت نتایج متفاوت را ارائه می‌دهند (۶). بنابراین انتخاب مدل مناسب‌تر بر اساس شاخص‌های ارزیابی نیز چندان نمی‌تواند مورد اطمینان باشد. بهترین کار استفاده از

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

مدل‌های ترکیبی است (۳). در این پژوهش، مدل ترکیبی از کارایی بالاتری نسبت بـه مدل‌های تک برخوردار بـود. مـدل ترکیبی می‌تواند نتایج صحیح‌تر و معتبرتری تولیـد کنـد و حتی پایه‌ای قوی برای تصمیمات صـحیح مـدیریتی باشـد. با توجه به بررسی اهمیت نسبی متغیرهای دارای کمترین همبستگی خطی، نتایج به‌دست آمده نشان داد، متغیرهای انتخاب شده bio19, bio18, bio4 و siol- clay (رس خاک) دارای اهمیت نسبی بالا و بیشترین تاثیر بر مدل‌سازی داشتند. به‌طور کل می‌توان بیان کرد؛ نرخ مشارکت کل بارش ۱۳/۱درصد، نرخ مشارکت کل دما ۲/۷ درصد، نرخ مشارکت کل شاخص (شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی) NDVI ۰/۴ درصد، نرخ مشارکت کل متغیر خاک ۴/۵ درصد و نرخ مشارکت کل (توپوگرافی) SRTM ۰/۲ درصد است، نشان‌دهنده نقش موثر بارش در حضور گونه آنغوزه است. سعادت فر و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در بین عوامل مؤثر بر رشد، نقش عامل اقلیمی بارش بیش از سایر عوامل بود. نتایج نشان می‌دهد بارش گرم‌ترین ماه و بارش سردترین ماه تأثیر زیادی بر رشد این گونه دارند. متزگر و همکاران (۲۰۱۳)، بیان نمودند، رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که باعث کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود. طبق تحقیقات، پیرمرادی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تیمارهای مختلف آبیاری در عملکرد شیرابه، میزان اسانس، خصوصیات مورفولوژیکی، و بقای گیاه دارویی- مرتعی آنغوزهٔ تلخ، به این نتیجه رسیدند، افزایش بارندگی سبب افزایش رشد رویشی، عملکرد شیرابه، چرخه رشد و بقای آنغوزه می‌شود. نتایج زنگویی و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تعیین درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی بذر آنغوزه نشان دادند، با افزایش بارندگی از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلی‌متر، درصد جوانه‌زنی گیاه آنغوزه به طور قابل توجهی افزایش یافته و از ۲۲/۵ به ۶۱/۲۵ درصد رسیده است. جوانه‌زنی بذر آنغوزه در ۷۰ درصد به بالا نشان‌دهنده توانایی بالای این گیاه در تحمل خشکی است. با افزایش دما به بالاتر از دمای مطلوب سرعت جوانه‌زنی بذور آنغوزه کاهش یافته است و در دمای حداکثر، سرعت و درصد جوانه‌زنی به صفر می‌رسد. این نتایج با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش هم‌سو می‌باشند. بنابر تاثیر BiO4 بر احتمال حضور گونه آنغوزه نمی‌توان از این عامل نیز چشم‌پوشی نمود نشان‌دهنده تاثیر تغییرات فصلی دما بر احتمال حضور این گونه است. کاپلند و مک دونالد (۱۹۹۵) تغییر پروتئین‌های ضروری جوانه‌زنی را عامل توقف جوانه‌زنی در دمای حداکثر می‌دانند. هاردگری (۲۰۰۶) بیان کرد دماهای بالا علاوه بر کاهش سرعت جوانه‌زنی سبب نابودی بذر نیز می‌شوند. علاوه بر متغیرهای زیست اقلیم، سایر متغیرهای محیطی (از جمله ویژگی های توپوگرافی و متغیرهای بیولوژیکی) (۲۴). نیز بر توزیع آنغوزه تأثیر گذاشتند. نقش عوامل خاک در حضور این گونه را نمی توان نادیده گرفت سعادت فر و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی گونه آنغوزه در منطقه چترود، نتایج حاصل از مقایسات زوجی بین عوامل مؤثر بر رویش آنغوزه مقایسه عوامل اقلیمی و ادافیکی مؤثر، نقش عامل اقلیمی بارش و عامل خاکشناسی ماده آلی بیشتر از سایر عوامل می‌باشند. در مجموع تأثیر عوامل خاکشناسی با مجموع اوزان ۰/۷ بیشتر از توپوگرافی ۰/۶ است. بنابراین مشخص گردید که عوامل‌ادافیکی نقش زیادی در گسترش گونه آنغوزه دارند ولی نقش عامل اقلیمی بارش بیشتر از دیگر موارد بوده است. این نتایج با نتایج ا پژوهش ما همخوانی دارند و نشان می‌دهد در مکان‌هایی که میزان بارش بیشتر است احتمال حضور گونه آنغوزه بیشتر است. ارزیابی تناسب زیستگاه آنغوزه بر اساس مدل ترکیبی نشان داد، سطح وسیعی تقریباً ۸۰ درصد از منطقه مورد مطالعه فاقد توانایی استقرار این گونه است، و ۲۰ درصد شامل تناسب خوب و متوسط است. بارش مناسب، ماده آلی بالاتر از سایر مناطق، ارتفاع مناسب و خاک مناسب از جمله عواملی است که سبب این طبقه‌بندی شدند. درصد بالای جوانه‌زنی بذور آنغوزه در ۳ درجه سانتی‌گراد نشان‌دهنده توان بالای این گیاه در تحمل سرما است. آنغوزه اغلب در ارتفاعات بالای ۱۰۰۰ متر می‌روید، این گیاه در اواسط اسفند ماه سبز شده و قادر به تحمل درجه حرارت‌های پایین می‌باشد (۲۰ و ۲۳). قسمت و قسمتهای دیگر به‌دلیل بارش کم مکان مناسبی جهت حضور این گونه نمی باشد. بنابراین مناسب‌ترین زیستگاه در نواحی شمالی و شمال غربی استان هرمزگان است. این مناطق به لحاظ اقلیمی با بارش‌های شدید و مشکلات فرسایش خاک مواجه است. با توجه به خصوصیات رویشی گونه آنغوزه کاربرد نتایج پژوهش حاضر

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

جهت گسترش و ترویج آن در مناطق مورد مطالعه می‌تواند سبب بهبود همزمان معیشت آبخیزنشینان جهت بهره‌برداری مناسب و به صرفه این گونه دارویی و بهبود پایداری منابع آب و خاک برای استفاده آیندگان گردد. نتایج مدل‌سازی اجماعی ما نقشه‌های با وضوح بسیار بالا از احتمال وقوع گونه آنغوزه را پیش‌بینی نمود به‌دلیل برداشت بیش از حد و انقراض احتمالی، این گونه برای درک تکامل و ویژگی‌های اکولوژیکی خود به تحقیقات اساسی بیشتری نیاز دارد. نتایج مدل‌سازی اجماعی ما نقشه‌های با وضوح بسیار بالا از احتمال وقوع گونه آنغوزه را پیش‌بینی نمود. نتایج ما مبنای علمی مهمی برای حفاظت، معرفی و استفاده بهینه از آنغوزه برای پیش‌بینی امکان این گونه در جنوب ایران فراهم می‌کند.

References

1. Abbasi, Z., J. Farzadmehr & H. Sangouni, 2024. Determining the Potential Habitat of Iris songarica Schrenk in Torbat Heydarieh County, Using Ecological Niche Factor Analysis, Journal of Rangeland, 17(4): 570-586. (In Persian)
2. Allouche, O., A. Tsoar & R. Kadmon, 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology, 43(6): 1223-1232.
3. Araujo, B. M. & M. New., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. Journal of Trends in Ecology and Evolution, 22: 42-47.
4. Cheng, Y., J. Wu, H. Zhu & X. Shao, 2020. Remaining useful life prognosis based on ensemble long short-term memory neural network. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 70: 1-12.
5. Copeland, L.O. & M.B. McDonald., 1995. Principles of Seed Science and Technology. Pub.Chapman and Hall. USA, 112p.
6. Elith, J. & J. R. Leathwick, 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Journal of Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 40: 677-697.
7. Fakhimi, E., M. Khodagholi, S. Yosefi, R. Saboohi, H. A. Shirmardi & S. Ghatreh, 2024. Investigating the Impact of Climate Change on the Present and Future Habitat Rangelands of Artemisia aucheri Boiss Species in Pasture Habitats of Central Zagros, Chaharmahal va Bakhtiari Province, Journal of Rangeland,17(4): 498-512. (In Persian)
8. Gao, M., N. Tim, C. Zhang, F. Li, Y. Wu, Q. Luo, Z Wang, L. Liu & R. Sa, 2024. Modelling the potential distribution area of Populus davidiana in China based on the Biomod2. Journal of Nanjing Forestry University, 48(2): 247.
9. Hao, T., J. Elith, G. Guillera-Arroita & J.J. Lahoz-Monfort, 2019. A review of evidence about use and performance of species distribution modelling ensembles like BIOMOD. Journal of Divers. Distrib, 25: 839–852.
10. Hardegree, SP., 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. Journal of Annals of Botany, 97(6):1115-25.
11. Hoban, S., A. Dawson, J.D. Robinson, A.B. Smith & A.E. Strand, 2019. Inference of biogeographic history by formally integrating distinct lines of evidence: Genetic, Journal of environmental niche and fossil. Ecography, 42:1991–2011.
12. Jafarian, Z. & M. Mmiri, 2024. Investigating the Potential Habitat of Bromus stenostachyus Boiss. in Mazandaran Rangelands Using an Ensemble Modeling Approach. Journal of Rangeland, 17(4): 513-528. (In Persian)
13. Karger, D.N., O. Conrad, J. Böhner, T. Kawohl, H. Kreft, R.W. Soria-Auza, N.E. Zimmermann, H.P. Linder & M. Kessler, 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Journal of Science Data, 4:122-170.
14. Kumar, R., N. Yadav, A. Rana, R. Chauhan, S. Singh, D. Kumar, S. Singh & A. Kumar, 2024. Ferula assa-foetida L., an important Central and South Asian traditional spice and medicinal herb: A comprehensive review Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, Volume 41:100-548
15. Metzger, M.J., R.G.H. Bunce, R.H.G. Jongman, R. Sayre, A. Trabucco & R. A. Zomer, 2013. high-resolution bioclimate map of the world: A unifying framework for global biodiversity research and monitoring. Glob. Ecol. Journal of Biogeogr, 22: 630–638.
16. Mohamadi M., Z. Jafarian & R. Tamartash, 2022. Prediction of Plant Species Boibiversity using Generalized Linear Model (GLM) and Boosted Regression Tree (BRT) in Eastern Rangelands of Mazandaran, Journal of Rangeland, 16(3): 480-468. (In Persian)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]

17. Mohammadi, A., S. J. Alavi & Q. M. Hosseini, 2016. Modeling the utility of habitat of Ulmus glabra species in Kheirud Noshahr forest. Journal of Wood and Forest Science and Technology Research, 24(3): 67-80. (In Persian)
18. Momeni Demaneh, J., Y. Esmaeilpour, H. Gholami & A. Farashi, 2021, Properly predict the growth of (Ferula assa-foetida L.) in northeastern Iran using the maximum entropy model. Journal of Range and Desert Research of Iran, 28(3): 587-592. (In Persian)
19. Naimi, B., N.A. Hamm, T.A. Groen & A.K. Skidmore, 2014. Toxopeus, A.G. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? Journal of Ecography, 37: 191–203.
20. Pirmoradi, M.R., 2002. Investigation effects of different root scarification methods and some another factors on asafetida yield and survival. University MA degree thesis. Tarbiat Modarres University, Tehran, 80p. (In Persian)
21. Pirmoradi, M.R., M. Moghadam & N. Yazdani, 2015. Investigating different irrigation treatments on leachate yield, essential oil content, morphological characteristics, and survival of medicinal-pasture plant Ferula assa-foetida L. Bitter Anghuzeh., Journal of Range and Watershed Management, 68(1): 25-34. (In Persian)
22. Saadatfar, A., E. Tavasolian & S. Hossein Jafari, 2018. Determining the potential habitat of the medicinal plant Ferula assafoetida using hierarchy analysis and geographic information system (case study: Chetroud region, Kerman). Journal of Medical Plants, 8(29):1-15. (In Persian)
23. Shad, G., 1995. Autecology of asafoetida and evaluation of its harvesting methods in kashmar Mohammad Abad Chalapoo region. Thesis for M.Sc. Faculty of Natural Resources of Gorgan Agricultural University. (In Persian)
24. Sillero, N., S. Arenas-Castro, U. Enriquez-Urzelai, C.G. Vale, D. Sousa-Guedes, F. Martínez-Freiría, R. Real & A. Barbosa, 2021. Wantto model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling, Journal of Ecological Modeling, 456: 109671.
25. Song, H., A. Ordonez, J. Svenning, H. Qian, X. Yin, L Mao, T. Deng & J. Zhang, 2021. Regional disparity in extinction risk: Comparison of disjunct plant genera between eastern Asia and eastern North America. Glob, Journal of Change Biological, 27: 1904-1914.
26. Thuiller, W., 2003. BIOMOD – optimizing predictions of species distributions and pro-jecting potential future shifts under global change. Glob, Journal of Chang Biological, 9: 1353–1362.
27. Thuiller, W., B. Lafourcade, R. Engler, & M.B. Araújo, 2009. BIOMOD—A platform for ensemble forecasting of species distributions, Journal of Ecography, 32: 369–373.
28. Woodman, S.M., K.A. Forney, E.A. Becker, M.L. DeAngelis, E.L. Hazen, D.M. Palacios & J.V. Redfern, 2019. eSDM: A tool for creating and exploring ensembles of predictions from species distribution and abundance models. Journal of Methods in Ecology and Evolution,10: 1923-1933.
29. Zngooei, M., S. Parsa, S. Mahmoodi & M. Jami, 2012. (Ferula assafoetida) determination of the cardinal temperatures for the germination of Ferula assafoetida seeds. Journal of Plant production research magazine, 19(3): 193-202. (In Persian)
30. Zurell, D., J. Franklin, C. König, Bouchet, P.J. Dormann, J. Elith, G. Fandos, X. Feng, G. Guillera-Arroita & A. Guisan, 2020. A standard protocol for reporting species distribution models, Journal of Ecography, 43: 1261–1277.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-07-31]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.7.7]