Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Habitat Prediction Modeling for the Medicinal Species *Vaccinium arctostaphylos* L. Using Maximum Entropy Globally

Mina Azizi Kalesar[1], Mehdi Moameri[*2], Ardavan Ghorbani[3], Seyed Jalil Alavi[4]

1. Ph.D. Student of Rangeland Sciences, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Corresponding author; Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: moameri@uma.ac.ir.
3. Prof., Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4. Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2025; Vol 19, Issue 1

Article history:
Received: 12.11.2024
Revised: 10.04.2025
Accepted: 13.04.2025

Keywords:
Bioclimatic factors,
Topographic variables,
Kappa index,
Species distribution modeling.

Abstract

Background and objectives: Understanding the environmental factors affecting the establishment and survival of native and medicinal plants is crucial for habitat conservation, especially for species at risk of extinction. This study aims to model the habitat suitability of the rare medicinal plant Vaccinium arctostaphylos L. using the Maximum Entropy (MaxEnt) method.

Methodology: We identified the habitat of V. arctostaphylos in Iran, considering the region's diverse topography, and conducted field studies. Occurrence records were extracted from the GBIF database at a global scale, while climate data—including 11 temperature variables and 8 precipitation variables—were sourced from WorldClim with a spatial resolution of 30 seconds (~1 km²). A total of 19 bioclimatic variables were incorporated into the model along with digital elevation models (DEM), slope maps, and geographic orientation maps. Using ArcGIS 10.8, we overlaid these factors with species occurrence points to generate a habitat suitability map.

Results: The MaxEnt model achieved an area under the curve (AUC) value of 0.97, indicating strong predictive power. Jackknife analysis identified Bio17 (precipitation of the driest quarter) and Bio18 (precipitation of the warmest quarter) as the most influential factors in V. arctostaphylos distribution. Other significant predictors included Bio4 (temperature seasonality), Bio12 (annual precipitation), and Bio14 (precipitation of the driest month). Among topographic variables, slope percentage was most critical. Response curves demonstrated that species occurrence positively correlated with precipitation variables (Bio12, Bio14, Bio17, Bio18) and slope, while showing an inverse relationship with temperature seasonality (Bio4). The highest probability of presence was recorded in areas with annual precipitation between 1200–1700 mm, temperatures ranging from 5–10°C, and slopes between 15–30%.

Conclusion: The model's accuracy, assessed using the Kappa index (0.67), confirmed the reliability of MaxEnt in predicting suitable habitats for V. arctostaphylos. These findings highlight critical environmental parameters that

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

shape the species' global distribution and provide valuable insights for conservation and habitat restoration efforts.

Cite this article: Azizi Kalesar, M., M. Moameri, A. Ghorbani, S.J Alavi, 2025. Habitat Prediction Modeling for the Medicinal Species Vaccinium arctostaphylos L. Using Maximum Entropy Globally. Journal of Rangeland, 19(1): 88-107.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه گونه دارویی قره‌قات (*Vaccinium arctostaphylos* L.) با روش آنتروپی حداکثر در سطح جهان

مینا عزیزی کله‌سر[۱]، مهدی معمری*[۲]، اردوان قربانی[۳]، سید جلیل علوی[۴]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: moameri@uma.ac.ir

۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴. دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۴؛ جلد ۱۹، شماره ۱

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۸/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

واژه‌های کلیدی:
عوامل زیست اقلیمی،
عوامل توپوگرافی،
شاخص کاپا، پ
یش‌بینی پراکنش گونه.

چکیده

سابقه و هدف: کسب شناخت علمی در زمینه ارتباط بین عوامل محیطی مؤثر در استقرار و بقای گیاهان بومی و دارویی و پراکنش رویشگاه گونه‌های در معرض خطر انقراض، به منظور مدیریت و بهره‌برداری مناسب از مراتع و چگونگی پاسخ گونه به تغییرات محیطی و در کل ثبات و پایداری آن‌ها ضروری است. مطالعه حاضر با هدف تهیه مدل پیش‌بینی رویشگاه گونه نادر و دارویی قره‌قات (*Vaccinium arctostaphylos L.*) با استفاده از روش آنتروپی حداکثر و تعیین دامنه اکولوژیک پتانسیل این گونه در سطح جهانی انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، ابتدا محدوده رویشگاه گونه در ایران با توجه به توپوگرافی متنوع و هدف تحقیق با استفاده از مطالعات میدانی، مشخص شده و سپس از داده‌های بیولوژیکی موجود و نقاط ثبت شده گونه قره‌قات در سطح جهانی از پایگاه داده GBIF دریافت شد. سپس، عوامل اقلیمی از پایگاه داده WorldClim به تعداد ۱۱ متغیر دما و ۸ متغیر بارش با دقت مکانی ۳۰ ثانیه (تقریباً معادل ۱×۱ کیلومتر) شامل ۱۹ متغیر زیست اقلیمی مشتق شده از دما و بارش دریافت شد. علاوه براین، نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، شیب و جهات جغرافیایی به‌عنوان متغیرهای توپوگرافی برای ورودی مدل در نظر گرفته شدند. در نهایت با روی‌هم‌گذاری نقشه‌های نقاط نهایی ثبت‌شده و نقشه‌های عوامل توپوگرافی و اقلیمی، در نرم‌افزار Arc GIS$_{ver.10.8}$ نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه قره‌قات در سطح جهانی ارائه شد.

نتایج: نتایج کیفیت مدل آنتروپی حداکثر برای قره‌قات برابر با ۰/۹۷ به‌دست آمد که نشانگر پیش‌بینی خوب مدل است. نقش عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه با استفاده از روش جک‌نایف و منحنی‌های پاسخ بررسی شد. نتایج روش جک‌نایف برای تعیین اهمیت متغیرها در توزیع جغرافیایی گونه قره‌قات نشان داد که به‌ترتیب متغیرهای Bio17 (بارش خشک‌ترین فصل سال) و Bio18 (بارش گرم‌ترین فصل سال) دارای بیش‌ترین تأثیر در پراکنش گونه بود و متغیرهای Bio4 (درجه حرارت فصلی)، Bio12 (بارش سالانه) و Bio14 (بارش خشک‌ترین ماه) نیز در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند و از میان عوامل توپوگرافی تأثیر متغیر درصد شیب در رویشگاه‌های مورد مطالعه، نسبت به عوامل دیگر مورد اهمیت بود. نتایج منحنی‌های پاسخ در منطقه نشان داد که احتمال حضور گونه *V. arctostaphylos* با عوامل بارش سالانه (Bio12)، بارش خشک‌ترین ماه (Bio14)، بارش خشک‌ترین فصل سال (Bio17)، بارش گرم‌ترین فصل سال (Bio18) و شیب رابطه مستقیم و با عامل درجه حرارت فصلی (Bio4) رابطه معکوسی داشت. بیش‌ترین احتمال حضور گونه در محدوده بارش سالانه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر و درجه حرارت سالانه ۱۰-۵ درجه سانتی‌گراد است و از میان عوامل توپوگرافی بیش‌ترین حضور گونه قره‌قات در شیب حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: برای ارزیابی میزان تطابق نقشه پیش‌بینی با نقشه واقعی از شاخص کاپا استفاده شد. بر این اساس صحت مربوط به مدل‌سازی آنتروپی حداکثر (Kappa: ۰/۶۷) قابل قبول بوده و این مدل، دارای دقت خوب در پیش‌بینی حضور گونه با واقعیت رویشگاه بود. بر اساس نتایج مدل، روش آنتروپی حداکثر قادر است برای رویشگاه گونه قره‌قات که دارای شرایط رویشگاهی منحصر به‌فردی است، مدل پیش‌بینی خوبی را فراهم می‌آورد. آشنایی با مهم‌ترین عوامل موثر بر پراکنش جغرافیایی و گرایش ترجیحی گونه قره‌قات در سطح جهانی، می‌تواند راهنمای مناسبی برای برنامه‌ریزی در زمینه حفاظت و احیای رویشگاه‌های مطلوب این گونه باشد.

استناد: عزیزی کله‌سر، م.، م. معمری، ا. قربانی، س.ج. علوی، ۱۴۰۴. مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه گونه دارویی قره‌قات (*Vaccinium arctostaphylos* L.) با روش آنتروپی حداکثر در سطح جهان. مرتع، ۱۹(۱): ۸۸-۱۰۷.

DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

مقدمه

بهره‌برداری بی‌رویه و نامناسب از گیاهان، سبب برهم خوردن تعادل اکوسیستم‌های مرتعی می‌شود و به‌دنبال آن تغییر و تخریب در پوشش گیاهی اتفاق می‌افتد (۲). یکی از اهداف مهم در تحقیقات اکوسیستم‌های مرتعی، تعیین عوامل کنترل‌کننده حضور و پراکنش گیاهان مرتعی است، به همین دلیل در پژوهش‌های گوناگون این موضوع از ابعاد مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۷). امروزه در عرصه اکولوژی گیاهی، تهیه نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای با رشد روش‌های آماری و مدلسازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد توجه ویژه قرار گرفته است که به شناسایی رویشگاه بالقوه بر اساس یک‌سری اطلاعات اولیه هم‌چون حضور و غیاب گونه‌ها و متغیرهای محیطی، احتمال رخداد گونه‌ای معین در مکان‌های مختلف تعیین می‌شود (۴۴، ۴۵ و ۴۹). در قرن اخیر از فاکتورهای اقلیمی در ترکیب با دیگر عوامل محیطی برای توصیف الگوهای پراکنش پوشش گیاهی در سراسر جهان استفاده شده است. اقلیم تعیین‌کنندهٔ سایر مولفه‌های اکوسیستم از جمله خاک، پوشش گیاهی و جانوری است (۱۸). تأثیر اقلیم به عنوان مهم‌ترین عامل پراکنش موجودات و به ویژه گیاهان، به دلیل سکون آن‌ها توسط همه اکولوژیست‌ها و اقلیم شناسان تأیید شده است (۲۸). کاهش رویشگاه‌های گیاهان دارویی نتیجه تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است (۲۶). درواقع پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی نادر، امری ضروری در راستای حفاظت، ارزیابی سطح تهدیدها و مدیریت آن‌ها محسوب می‌شود (۴۳).

یکی از الگوریتم‌های تحلیلی- آماری تعریف شده در خصوص شناخت روابط بین پراکنش گیاهان و عوامل محیطی، مدل‌های پراکنش گونه‌ای (SDM= Species Distribution Modeling) است (۳۲ و ۵۴). مدل‌های پیش‌بینی‌کننده رویشگاه، نقش مهمی در پیشنهاد گونه‌های سازگار با شرایط اکولوژیکی مختلف، برای عملیات احیاء و توسعه پایدار اکوسیستم‌های مرتعی و جنگلی دارند (۲۴). تاکنون مجموعه گسترده‌ای از مدل‌های آماری و مبتنی بر یادگیری ماشین معرفی شده‌اند (۷). موضوع مهم در مدل، انتخاب روش مدل‌سازی مناسب است، زیرا یک انتخاب با مطلوبیت کم باعث پیش‌بینی با عملکرد ضعیف خواهد شد (۱۴). اغلب اطلاعات در دسترس مربوط به حضور گونه‌ها بوده و داده‌های عدم حضور کمتر در دسترس هستند؛ حتی اگر این داده‌ها در دسترس باشند، مقادیر آن‌ها با شک و تردید همراه است (۳)؛ لذا روش‌های مدل‌سازی که فقط از داده‌های حضور استفاده می‌کنند، ابزاری مناسب برای غلبه بر این مشکل هستند (۱۷ و ۵۹). روش آنتروپی حداکثر (Maximum Entropy) یک روش چندمنظوره برای انجام پیش‌بینی یا استنتاج از داده‌های ناقص است و از روش‌های فقط حضور برای مدل‌سازی توزیع گونه به حساب می‌آید. ایده کلی حاکم بر آنتروپی حداکثر ، تخمین احتمال توزیع یک هدف از طریق یافتن احتمال توزیع آنتروپی حداکثر است (به معنای بیش‌ترین گسترش یا نزدیک‌ترین حالت به فرم یکنواخت)، البته این گسترش با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی است که در مورد اطلاعات ناکامل ما در مورد پراکنش گونه هدف وجود دارد. یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی روش آنتروپی حداکثر این است که سهم نسبی هریک از متغیرها و درصد مشارکت آن متغیر در کل مدل پیش‌بینی مشخص می‌شود. این ویژگی به کاربران اجازه می‌دهد تا با شناخت متغیرهای دارای تأثیر بیشتر در وقوع گونه‌های مختلف، در مطالعات بعدی تنها بر متغیرهای مهم متمرکز شوند و هزینه و زمان مورد استفاده برای تحقیقات بعدی کاهش و در مقابل صحت پیش‌بینی مدل‌ها افزایش یابد (۵۱). همچنین این مدل زمانی که تعداد نقاط حضور اندک باشد کارایی بیش‌تری نسبت به انواع مدل‌های دیگر دارد (۴۲). در تحقیق حاضر نیز به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند استفاده از داده‌های فقط حضور و قابلیت پیش‌بینی بالا و یادگیری ماشینی بودن آن، برای مدل‌سازی پراکنش و بررسی عوامل محیطی تأثیرگذار بر توزیع گونه نادر قره‌قات از این مدل استفاده شد.

تحقیقات نسبتاً زیادی با استفاده از روش آنتروپی حداکثر برای مدل‌سازی پراکنش گونه در سطح کشور و جهانی انجام شده است. در این ارتباط، میرجلیلی و همکاران (۱۴۰۰) در مدل‌سازی پراکنش گیاه گز پرشاخه (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) در استان اصفهان بر مبنای مدل آنتروپی حداکثر، ۱۹ متغیر بیواقلیمی و سه متغیر توپوگرافی را بکار بردند که نتایج کیفیت مدل آنتروپی حداکثر برای این گونه برابر با ۰/۹۶۷ و ارزیابی صحّت مدل

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

با استفاده از ضریب آماری کاپا برابر با ۰/۸۰به‌دست آمد و عوامل محیطی مربوط به توپوگرافی شامل درصد شیب و عوامل اقلیمی میزان بارش در سردترین فصل (Bio19)، بارندگی سالانه (Bio12)، محدوده سالانه دما (Bio7) و میانگین دمای سردترین فصل (Bio11) به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در پراکنش گونه دارا بودند. معمری و همکاران (۲۰۲۲) در تعیین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه دارویی *Vaccinium arctostaphylos* L. با استفاده از مدل MaxEnt در مراتع شهرستان نمین استان اردبیل، نتیجه گرفتند که متغیرهای ارتفاع، بارندگی و دما به‌ترتیب مهم‌ترین متغیرها در پراکنش *V. arctostaphylos* بودند. هم‌چنین صحت مدل‌سازی آنتروپی حداکثر با شاخص کاپا ۰/۶۷ به‌دست آمد و این مدل از دقت خوبی در پیش‌بینی حضور گونه‌های دارای زیستگاه اصلی برخوردار است. در مطالعه‌ای دیگر، حسینی و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش آینده سه گونه *Ferulago* در ایران با استفاده از مدل MaxEnt عملکرد خوب تا عالی مدل‌سازی را با سطح زیر مقادیر منحنی بیش از ۰/۸۵را نشان دادند. طبق نتایج مدل، درصد شیب به‌عنوان مهم‌ترین متغیر برای *F. angulata* و *F. carduchorum*، در حالی که تابش خورشیدی متغیر مهمی برای این گونه بود. دربین مطالعاتی که در سطح جهان انجام شده، ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای زیستگاه مناسب گونه *Cinnamomum camphora* L. را با استفاده از مدل MaxEnt تحت حداکثر تغییرات آب و هوایی در چین پیش‌بینی کردند و با بررسی ۸ متغیر محیطی به این نتیجه رسیدند که مدل MaxEnt برای پیش‌بینی زیستگاه احتمالی گونه بسیار قابل اعتماد (AUC: ۰/۹۲۳) است و گرم شدن اقلیم باعث گسترش رویشگاه‌های مناسب بالقوه گونه مذکور می‌شود. گو و همکاران (۲۰۲۳) در تحلیل پیش‌بینی پراکنش مناسب *Polygonatum kingianum* در شرایط مختلف اقلیمی بر اساس مدل MaxEnt با بررسی متغیرهای محیطی مانند اقلیم، خاک و توپوگرافی، نتیجه گرفتند در مقیاس کشور چین، دما و بارندگی عوامل مهمی بودند که بر پراکنش این گیاه دارویی تأثیر گذاشتند و در مقیاس ملی، Bio7، Bio12، Bio17، Bio11، و ارتفاع متغیرهای کلیدی موثر بر پراکنش *P. kingianum* بودند. هائو و همکاران (۲۰۲۴) برای پیش‌بینی پراکنش بالقوه *Hypericum perforatum* تحت سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر از ۸۹۴ نقاط پراکنش و ۳۶ عامل محیطی اقلیمی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که تابش خورشید، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال (Bio9)، میانگین دمای سالانه (Bio1) و بارندگی سالانه (Bio12) بر توزیع جغرافیایی گونه موثر بودند. نقوین و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر عوامل محیطی بر رویشگاه *Jasminum subtriplinerve* در مرکز ویتنام بر اساس ۱۹ متغیر زیست اقلیمی، ۱۰ ویژگی خاک و ۳ متغیر توپوگرافی، از الگوریتم آنتروپی حداکثر (MaxEnt) برای پیش‌بینی پراکنش گونه استفاده کردند که عملکرد خوب مدل را نشان داد (AUC=۰/۸۸۷). هم‌چنین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش *J. subtriplinerve* شامل ارتفاع، میانگین محدوده روزانه (Bio2)، هم‌دمایی (Bio3)، تراکم ظاهری، شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI= Normalized Difference Vegetation Index) و نسبت ذرات ماسه بودند.

گیاه قره‌قات (*Vaccinium arctostaphylos* L.) از تیره اریکاسه (Ericaceae)، یکی از گیاهان نادر، کمیاب و باارزش از لحاظ خاصیت دارویی، ارزش‌های زیستی و حفاظت خاک است (۶، ۱۲، ۲۲، ۳۸ و ۳۹). جنس وکسینوم و گونه دارویی قره‌قات دارای ارزش اقتصادی بوده و نیازمند مطالعه و پژوهش بیش‌تر برای افزایش سطح کشت، تولید محصولات دارویی و غذایی از این گیاه دارویی است (۲۲). بنابراین، با توجه به خلاء تحقیقاتی موجود، عدم شناخت کافی در ارتباط با عوامل بوم‌شناختی مؤثر در انتشار این گونه دارویی نادر و در خطر انقراض، هدف از مطالعه حاضر، تعیین مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر در توزیع گونه *V. arctostaphylos* با به‌کارگیری عوامل اقلیمی و توپوگرافی و ارزیابی توان پیش‌بینی رویشگاه با استفاده از روش مدل‌سازی آنتروپی حداکثر در سطح جهانی است. شناخت عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش پوشش گیاهی می‌تواند در زمینه آشنایی با سازگاری گونه‌های بومی، گرایش ترجیحی گونه و بکارگیری آن‌ها در برنامه‌های اصلاح و احیاء رویشگاه‌های این گونه، کارآمد باشد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

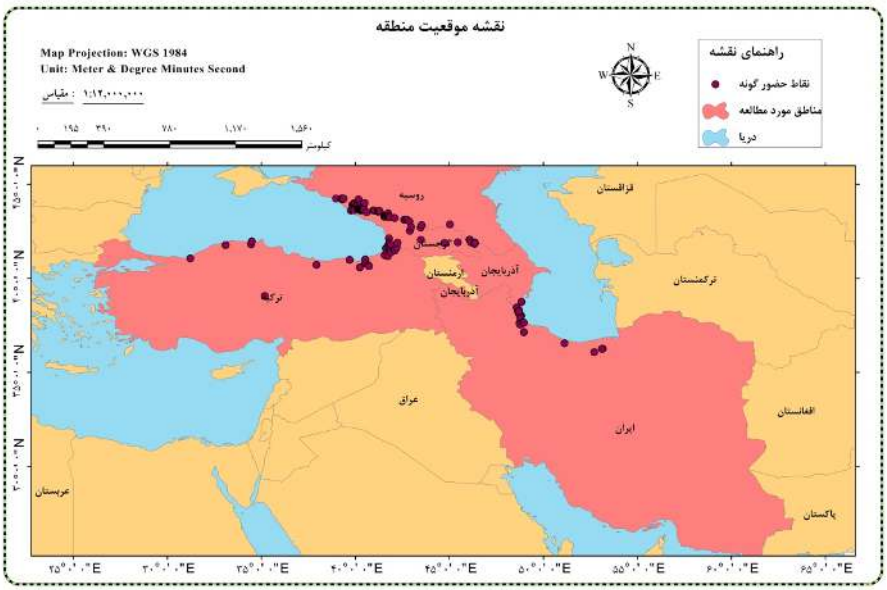
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه:

گونه قره‌قات در محدوده پراکنش خود به‌علت ارزش‌های زیست‌محیطی، حفاظت خاک، تولید محصولات فرعی و غیره از اهمیت خاصی برخوردار است. این گونه نادر، پراکنش جغرافیایی محدودی در سطح جهان دارد (شکل ۱) و در اکثر نواحی جنگلی آسیای صغیر، قفقاز، سیبری، آمریکای شمالی و به خصوص اروپا یافت می‌شود (۱۲). قره‌قات در سطح جهانی در پوشش‌گیاهی زیراشکوب جنگل‌های دریای سیاه شرقی یافت می‌شود (۱۰). شمال شرق و شمال غرب آناتولی در ترکیه از مناطق اصلی رویشگاه گونه *V. arctostaphylos* L. است (۹ و ۳۹). قره‌قات به طور گسترده‌ای در کشور ترکیه پراکنش دارد و از کف دره‌ها تا مکان‌های مرتفع در مراتع مشجر رشد می‌کند و برخلاف سایر اعضای این جنس مانند زغال اخته، این درختچه به راحتی تکثیر نمی‌شود. این مناطق دارای تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد است (۵۷). پراکنش جغرافیایی این گیاه در ایران در جنگل‌های ارسباران و کلیبر، سوها، حور و خانقاه اردبیل و به طور عمده در ارتفاعات استان گیلان است. بیش‌تر گونه‌های جنس وکسینیوم در نیمکره شمالی کره زمین پراکنش دارند (۵۴). ناحیه اوروسیبری (هیرکانی) یکی از مناطق مهم فلورستیک کشور ایران به‌شمار می‌آید. در تقسیم‌بندی مناطق زیست‌اقلیمی ایران، مراتع رویشگاه گونه قره‌قات، به‌عنوان مناطق اکوتون بین دو ناحیه اروپا-سیبری و ایران- تورانی و حتی آتروپاتانی قرار گرفته است؛ وجود شرایط مختلف توپوگرافی و اختلاف ارتفاع زیاد و نزدیکی به دریا باعث شده است تا شرایط رویشی مناسبی برای آشیان‌گزینی انواع گونه‌ها و استقرار اجتماعات گیاهی مختلف در این منطقه اکوتون فراهم آید (۵۲). این مراتع مشجر عرصه‌های تغییریافته اکوسیستم جنگلی هستند که پوشش گیاهی آن‌ها عمدتاً به‌صورت علفزار است و از نظر پوشش گیاهی و تامین علوفه مورد نیاز دام جزو بهترین مراتع ایران محسوب می‌شود. از نظر علم جغرافیا مناطق رویشگاه این گونه در اقلیم معتدل اکوتون مرتعی و جنگلی سرد قرار می‌گیرند که مخصوص نواحی کوهستانی است و دما به علت ارتفاع جغرافیائی کاهش پیدا می‌کند (۴). در این اقلیم میزان دمای متوسط سردترین ماه سال از ۳ درجه سانتی‌گراد کم‌تر و میزان متوسط گرم‌ترین ماه از ۱۰ درجه سانتی‌گراد بیش‌تر است (۳۹). بر اساس مطالعه معمری و همکاران (۲۰۲۲) و عزیزی کله‌سر و همکاران (۱۳۹۹)، گونه *V. arctostaphylos* در دامنه ارتفاعی ۱۹۰۰-۱۵۰۰ متر از سطح دریا احتمال حضور دارد و دامنه احتمال حضور گونه در بارندگی ۴۵۰-۳۵۰ میلی‌متر و در دمای متوسط سالانه در حدود ۱۰-۷ درجه سانتی‌گراد است. هم‌چنین طبق مطالعه حسنلو و همکاران (۱۳۹۸) قره‌قات در اقلیم سرد نواحی کوهستانی با محدوده ارتفاعی ۱۱۰۰ تا ۱۹۰۰ متری از سطح دریا رشد می‌کند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]



شکل ۱: موقعیت مناطق مورد مطالعه در سطح جهانی

معرفی گونه:

V. arctostaphylos توسط کارل لودویگ فون ویلدنو (Carl Ludwig von Willdenow) در سال ۱۷۹۹ توصیف و به‌صورت نام معتبری منتشر شد. قره‌قات (سیاه گیله یا سیاه‌دار یا قره‌گیله)، از رده دولپه‌ای‌ها، زیررده پیوسته‌گلبرگان، راسته اریکال و تیره Ericaceae (۴۶)، با نام انگلیسی Caucasian Whortleberry است. عماد و همکاران (۱۳۹۱) رویشگاه‌های طبیعی قره‌قات را در ایران بررسی کردند که در زیراشکوب راشستان‌ها به‌صورت درختچه حداکثر تا ارتفاع ۳ متر رشد می‌کند. قره‌قات بوته‌ای نیمه درختچه‌ای، درختچه‌ای و گاهی درختان کوچک که غالباً بر اثر انشعاب ساقه‌ها از پایین، منظره انبوه و متراکم دارد. گل‌های آویخته در کنار برگ‌ها و روی گل آذین خوشه ای آویزان در ماه‌های فروردین تا خرداد غنچه باز می‌کنند. شاخه‌های آن نازک، بدون خار و به رنگ سبز تا قهوه‌ای می‌باشند. میوه‌های پربذر آن سته کروی و به رنگ ارغوانی تیره بوده که روی شاخه‌های جوان و به‌صورت جانبی یا انتهایی تولید می‌شوند و تعداد بذور موجود در هر سته قره‌قات به طور متوسط ۴۵ عدد است. در اواخر تابستان، دانه‌های سیاه ارغوانی آن برای چیده شدن آماده می‌شوند (۱۶ و ۴۷). ریشه‌های سطحی قره‌قات در سطح زمین به همراه ریشه‌های ریزوم مانند آن در عمق خاک از مشخصات این گیاه است. این گیاه خاک سبک (شنی) و متوسط (لوم) ترجیح می‌دهد. نیاز به خاک‌های مرطوب بدون آهکی که به خوبی زهکشی شده و اسیدی باشند را داشته و می‌تواند در خاک بسیار اسیدی نیز رشد کند (۶ و ۱۲). در طب سنتی ایران دم‌کرده میوه این گونه در کاهش قند، فشار خون و کلسترول توصیه و مصرف می‌شود. قره‌قات در درمان عفونت‌های باکتریایی مثانه به کار می‌رود و به علت داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدان سیانوزیدی به تشکیل مویرگ‌های قوی‌تر کمک می‌کند، موجب کاهش رشد سلول‌های سرطانی شده و در افزایش قدرت باروری نیز به کار می‌رود (۲۲ و ۳۹). قره‌قات به دلیل عدم امکان تجدید حیات در طبیعت از طریق بذر در حال انقراض است (۱۲).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

شکل ۲: تصاویری از گونه *V. arctostaphylos* L. در ایران

روش تحقیق

ابتدا تعداد ۳۰۰ نقاط حضور ثبت شده گونه قره‌قات در سطح جهانی از پایگاه داده GBIF (Global Biodiversity Information Facility) دریافت شد. این داده‌های ثبت شده از گونه برای کشورهای روسیه، ترکیه، گرجستان و آذربایجان می‌باشند. در گام بعد، محدوده رویشگاه گونه در ایران با توجه به توپوگرافی متنوع و هدف تحقیق با استفاده از مطالعات میدانی، مشخص شده و سپس از داده‌های بیولوژیکی موجود به روش تصادفی سیستماتیک شامل تعداد ۵۲ نقاط حضور گونه *V. arctostaphylos* استفاده شد (۵، ۶ و ۱۳). هم‌چنین عوامل اقلیمی از پایگاه داده WorldClim به تعداد ۱۱ متغیر دما و ۸ متغیر بارش (۲۳) با دقت مکانی ۳۰ ثانیه (تقریباً معادل ۱× ۱ کیلومتر) شامل ۱۹ متغیر زیست اقلیمی مشتق شده از دما و بارش دریافت شد. متغیرهای زیست اقلیمی (بازه زمانی ۲۰۰۰ - ۱۹۷۰) درجه حرارت ماهانه و پارامترهای بارش را دربرگرفته‌اند و برای رشد و توسعه گونه‌ها مهم بوده و به‌طور گسترده‌ای برای بررسی توزیع گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۷ و ۵۵). افزون بر داده‌های زیست اقلیمی، نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM= Digital Elevation Model)، شیب و جهات جغرافیایی به‌عنوان متغیرهای توپوگرافی با دقت مکانی ۳۰ ثانیه (تقریباً معادل ۱ ×۱ کیلومتر) برای ورودی مدل در نظر گرفته شدند. در نهایت با روی‌هم‌گذاری نقشه‌های نقاط نهایی ثبت شده و نقشه‌های عوامل توپوگرافی و اقلیمی (جدول ۱)، در نرم‌افزار $\text{Arc GIS}_{\text{ver.10.8}}$ نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه قره‌قات در سطح جهانی ارائه شد.

بعد از تکمیل اطلاعات با توجه به هدف تحقیق و به‌منظور مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه قره‌قات از روش آنتروپی حداکثر استفاده شد. آماده‌سازی لایه‌های ورودی برای الگوریتم مدل آنتروپی حداکثر به ارزیابی احتمال توزیع مقادیر حداکثر متأثر از محدودیت‌های ناشی از متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع‌های مکانی گونه می‌پردازد. در این مدل، با استفاده از نقاط حضور گونه (x۱ تا xn) و فضای جغرافیایی محدود (مجموعه پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه) احتمال توزیع نامعلوم $\hat{\pi}$ محاسبه شد (۴۱). آنتروپی $\hat{\pi}$ به‌صورت زیر محاسبه گردید (رابطه ۱).

$$H(\hat{\pi})=\sum_{x\in X}\hat{\pi}(X)\ln\hat{\pi}(x) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

Ln: لگاریتم طبیعی، X : مجموعه پیکسل‌های منطقه، x : نقاط حضور گونه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

جدول ۱: متغیرهای محیطی مورد استفاده در مطالعه

کد	متغیر محیطی	واحد
Bio1	درجه حرارت متوسط سالانه	˚C
Bio2	متوسط ماهانه (درجه حرارت حداکثر – درجه حرارت حداقل)	˚C
Bio3	هم‌دمایی (Bio7/Bio2) ×۱۰۰	-
Bio4	درجه حرارت فصلی (انحراف معیار ×۱۰۰)	C of V
Bio5	حداکثر درجه حرارت گرمترین ماه سال	˚C
Bio6	حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال	˚C
Bio7	دامنه درجه حرارت سالانه (اختلاف Bio5, Bio6)	˚C
Bio8	متوسط درجه حرارت مرطوب‌ترین فصل سال	˚C
Bio9	متوسط درجه حرارت خشک‌ترین فصل سال	˚C
Bio10	متوسط درجه حرارت گرم‌ترین فصل سال	˚C
Bio11	متوسط درجه حرارت سردترین فصل سال	˚C
Bio12	بارش سالانه	mm
Bio13	بارش مرطوب‌ترین ماه	mm
Bio14	بارش خشک‌ترین ماه	mm
Bio15	بارش فصلی (CV)	C of V
Bio16	بارش مرطوب‌ترین فصل سال	mm
Bio17	بارش خشک‌ترین فصل سال	mm
Bio18	بارش گرم‌ترین فصل سال	mm
Bio19	بارش سردترین فصل سال	mm
DEM	ارتفاع از سطح دریا	m
Slope	شیب	٪
Aspect	جهت شیب	-

برای اجرای روش آنتروپی حداکثر، با تعدادی پارامتر ورودی و خروجی روبرو هستیم. ورودی‌ها، اطلاعات حضور گونه و لایه‌های زیست‌محیطی (۱۹ متغیر زیست اقلیمی (Bio) و ۳ متغیر توپوگرافی) با فرمت Ascii هستند. نقاط حضور گونه مورد بررسی در فایل‌های Excel با فرمت csv تهیه شدند؛ سپس داده‌های حضور گونه و هم‌چنین لایه‌های محیطی وارد نرم‌افزار $MAXENT_{3.3.3k}$ شدند. بنابراین، برای مدل‌سازی با استفاده از مدل حداکثر بیشینه ضرورت دارد تا تمامی نقشه‌های ورودی مدل در یک فریم تهیه شده و دارای زمین مرجع و سیستم مختصات یکسان باشند. هم‌چنین، برای اجرای این روش، از ۷۰ درصد نقاط حضور به‌صورت تصادفی برای داده‌های آموزشی و از ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی نتایج مدل استفاده شد. همچنین برای اجرای مدل از ۴ بار تکرار و تعداد ۱۰۰۰۰ نقاط پس زمینه استفاده شد. در محیط نرم‌افزار دو گزینه مربوط به ایجاد منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی و آزمون جک نایف (Jakknife) برای تعیین متغیرهای تأثیرگذار و گزینه مربوط به آماره سطح زیرمنحنی (AUC= Area Under the ROC Curve) برای ارزیابی صحت مدل پیش‌بینی، انتخاب شد. آزمون جک نایف برآورد آماری و دقیق از اهمیت متغیرها در پیش‌بینی مدل را فراهم می‌کند. این روش یک متغیر را در زمان اجرا حذف کرده و مدل را بر اساس متغیرهای باقی مانده اجرا می‌کند. سپس مدل را با هر یک از متغیرهای کنار گذاشته شده آزمون کرده و در نهایت مدلی نهایی با تمامی متغیرهای شرکت‌کننده در مدل ایجاد می‌کند. با این کار اطلاعاتی از تأثیر هر متغیر در مدل در شرایطی که مهم است میزان سهم هر متغیر در توضیح پراکنش گونه‌ها و اینکه هر متغیر چه میزان اطلاعات منحصربه‌فرد ایجاد می‌کند فراهم می‌شود (۴۲). به‌دلیل اینکه خروجی مدل، یک نقشه احتمالاتی پیوسته است برای تعیین حضور گونه مورد نظر باید آستانه بهینه حضور (Occurrence optimal thresholds) مشخص شود (۳۶ و ۴۲)، علاوه‌بر این، آماره سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد (ROC= Receiver Operating Characteristics) ابزار واحدی را برای ارزیابی عملکرد در بین تمام حدود آستانه ممکن فراهم می‌آورد. منحنی ROC روابط بین نسبت حضورهایی که به‌درستی پیش‌بینی شده (حساسیت) و نسبت عدم‌حضورهایی که به اشتباه پیش‌بینی شده است

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

(۱- اختصاصی بودن) را توصیف می‌کند. بعد از تعیین آستانه بهینه به‌روش حساسیت و اختصاصیت برابر (Equal test sensitivity and specificity)، نقشه پیوسته پیش‌بینی به نقشه‌های حضور و عدم‌حضور گونه‌ها تبدیل می‌شود. مقادیر سطح زیر منحنی بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند اگر سطح زیر منحنی کمتر از ۰/۵ باشد، بیان‌کننده تصادفی بودن مدل است و اگر این مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین نحو نقاط حضور و عدم حضور را از یکدیگر تفکیک می‌کند (۵۰). مساحت زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیان‌گر یک مدل خوب، بین ۰/۸ تا ۰/۹ مدل عالی و مساحت زیر منحنی بیش از ۰/۹ بیان‌گر پیش‌بینی بسیار عالی مدل است (۱۵ و ۳۵).

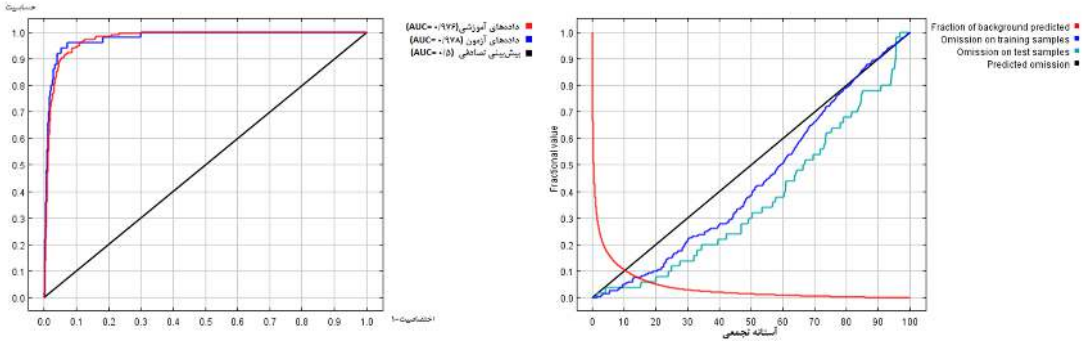
هم‌چنین برای ارزیابی میزان تطابق نقشه پیش‌بینی با نقشه واقعی مدل از شاخص کاپا (Kappa) استفاده شد. شاخص کاپا میزان توافق بین مقادیر مشاهدات و مقادیر پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد و برای محاسبه آن از ماتریس خطا استفاده می‌شود (۶۲). معادله شاخص کاپا به‌صورت رابطه (۲) است (۳۰):

$$K=\frac{(a+b)-[(a+c)(a+b)+(b+d)(c+d)]/n}{n-[(a+c)(a+b)+(b+d)(c+d)]/n}$$ رابطه (۲)

که در آن a معرف مقادیری است که هم در واقعیت و هم در مدل وجود دارد و مدل آن را به‌عنوان حضور ثبت می‌کند، b مقادیری که فقط در مدل دیده می‌شود، اما عملا در دنیای واقعی دیده نمی‌شود، c مقادیری که در واقعیت وجود دارد ولی در مدل دیده نمی‌شود، d مقادیری که نه در مدل و نه در واقعیت وجود دارد و مدل آن را به‌عنوان عدم‌حضور ثبت می‌کند.

نتایج

حساسیت‌سنجی مدل آنتروپی حداکثر در شکل (۳) با استفاده از سطح زیر منحنی (تحلیل ویژگی عامل دریافت کننده) در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سطح زیر منحنی برابر با احتمال قدرت تشخیص میان نقاط حضور و عدم حضور مدل بوده که از ۰/۵ تا یک تغییر می‌کند. مقادیر بالاتر از ۰/۵ معنی‌دار است. آنتروپی حداکثر دو منحنی راک بر اساس داده‌های یادگیری و آزمون تولید می‌کند. همان‌طور که از شکل مشخص است، میزان سطح زیر منحنی (AUC) برای داده‌های یادگیری حدود ۰/۹۷۶ و برای داده‌های آزمون حدود ۰/۹۷۸ در منطقه مورد مطالعه است که بر اساس طبقه‌بندی سطح زیرمنحنی سوویت (۱۹۸۸) نشانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل با مساحت زیر منحنی بیش از ۰/۹ است. هم‌چنین، نرخ Omission پایین شرط لازم و نه کافی برای یک مدل خوب است (۳). به دلیل تعریف آستانه تجمعی، نرخ Omission باید نزدیک به Omission پیش‌بینی شده باشد. در مطالعه حاضر با اینکه نمودار Omission نمونه‌های تعلیمی شکم‌دار شده (شکل ۳) لذا به دلیل انطباق کلی آن با Omission پیش‌بینی شده (خط راست مورب) قابل قبول است.

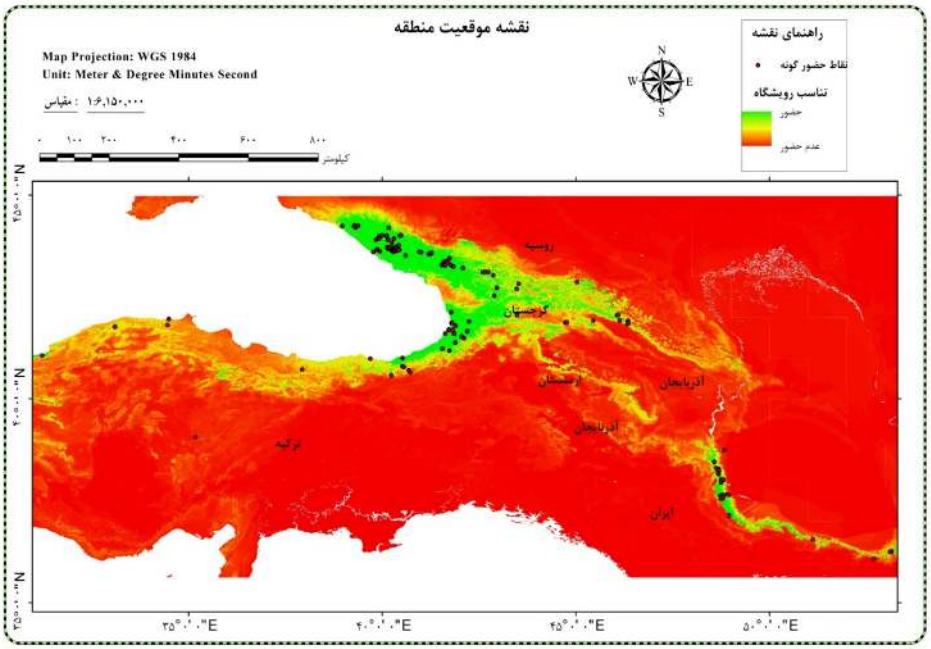


شکل ۳: آنالیز حساسیت و آستانه مدل آنتروپی حداکثر با استفاده از سطح زیر منحنی در منطقه موردمطالعه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

مکان‌های حضور و عدم حضور گونه *V. arctostaphylos* با استفاده از الگوی توزیعی متغیرهای تأثیرگذار محیطی پیش‌بینی شد. شکل (۴) نقشه پیش‌بینی رویشگاه برای گونه مذکور در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر را نشان می‌دهد. خروجی مدل آنتروپی حداکثر یک نقشه احتمالاتی پیوسته است که برای تایید حضور یا عدم‌حضور گونه‌های هدف باید یک مقدار آستانه بهینه برای حضور تنظیم شود. بعد از تعیین آستانه بهینه با استفاده از آزمون برابر حساسیت و اختصاصیت، نقشه پیوسته پیش‌بینی به نقشه حضور و عدم حضور (صفر و یک) تبدیل شد، بدین صورت که نقاط بزرگ‌تر از حد آستانه به‌عنوان حضور و مناطق پایین‌تر از آن، عدم‌حضور به‌شمار می‌روند.

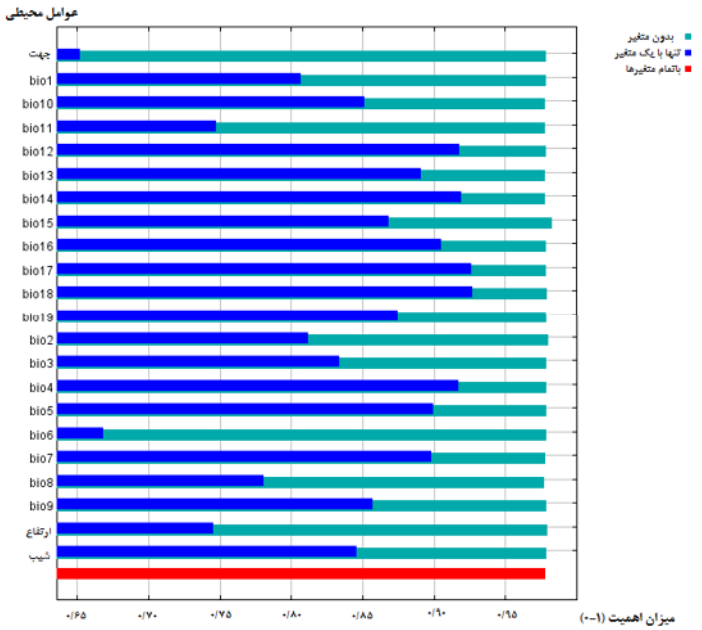


شکل ۴: نقشه پیش‌بینی حضورگونه *V. arctostaphylos* با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر

در روش جک‌نایف یک متغیر محیطی از مدل خارج می‌شود و مدل با استفاده از سایر متغیرها ادامه می‌یابد؛ هم‌چنین مدل با متغیر کنار گذاشته شده به‌صورت مجزا اجرا می‌شود. به این ترتیب سهم هریک از متغیرهای محیطی در کل مدل (شامل تمام متغیرها) محاسبه می‌شود (۲۵ و ۳۴). در شکل (۵)، محور عمودی متغیرهای محیطی و محور افقی تأثیر و اهمیت متغیرها را در سه حالت (بدون متغیر، فقط با متغیر و با همه متغیرها) در حصول مدل پیش‌بینی نشان می‌دهد. منحنی‌های پاسخ نشان‌دهنده روابط بین متغیرهای محیطی و پراکنش رویشگاه‌های مناسب برای هر گونه هستند و می‌توانند اطلاعات مفیدی را درباره آستانه‌های محیطی مورد نیاز برای رشد هر گونه ارائه دهند. نتایج روش جک‌نایف برای تعیین اهمیت متغیرها در توزیع جغرافیایی گونه قره‌قات نشان داد که به‌ترتیب متغیرهای Bio17 (بارش خشک‌ترین فصل سال) و Bio18 (بارش گرم‌ترین فصل سال) دارای بیش‌ترین تأثیر در پراکنش گونه است و متغیرهای Bio4 (درجه حرارت فصلی)، Bio12 (بارش سالانه) و Bio14 (بارش خشک‌ترین ماه) نیز در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند و از میان عوامل توپوگرافی تأثیر متغیر درصد شیب نسبت به عوامل دیگر مورد اهمیت بود. بنابراین متغیرهای ذکر شده مفیدترین اطلاعات را دارند و متغیرهای محیطی دیگر هنگامی‌که به‌صورت جداگانه در عملیات جک‌نایف اجرا می‌شوند، تأثیر کمتری دارند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

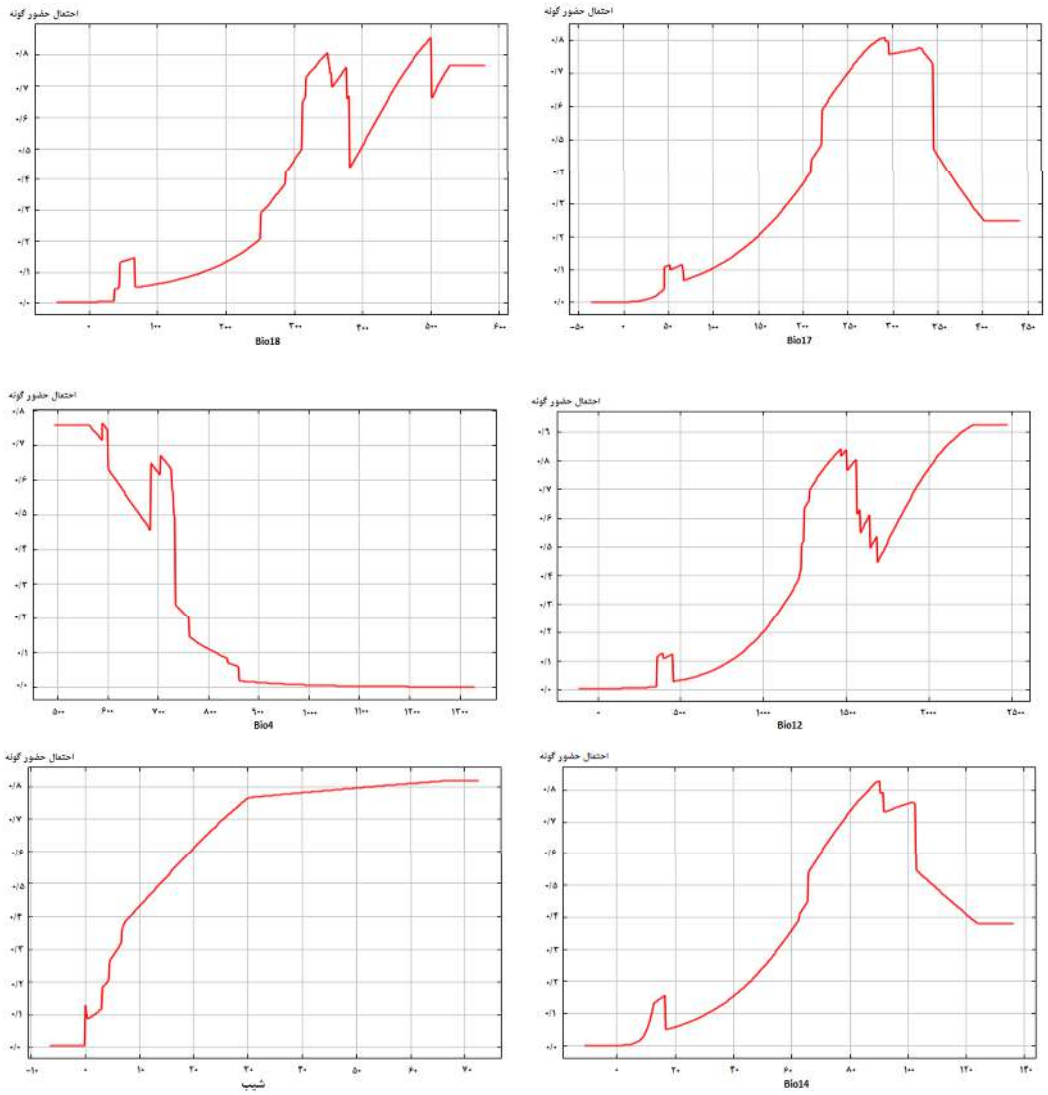


شکل ۵: نتایج حاصل از روش جک‌نایف در ارتباط با اهمیت متغیرهای محیطی در منطقه مورد مطالعه

منحنی پاسخ رابطهٔ بین متغیرهای محیطی و زیستگاه مناسب هر گونه گیاهی را نشان می‌دهد. در این مطالعه با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر، منحنی پاسخ برای مهم‌ترین متغیرهای محیطی مورد بررسی (تعیین شده در روش جک‌نایف) تهیه شد. شکل (۶) مهم‌ترین منحنی‌های پاسخ حضور گونه گیاهی *V. arctostaphylos* را نسبت به متغیرهای محیطی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج منحنی‌های پاسخ در منطقه نشان می‌دهد که احتمال حضور گونه *V. arctostaphylos* با عوامل Bio12 (بارش سالانه)، Bio14 (بارش خشک‌ترین ماه)، Bio17 (بارش خشک‌ترین فصل سال)، Bio18 (بارش گرم‌ترین فصل سال) و شیب رابطه مستقیم و با عامل Bio4 (درجه حرارت فصلی) رابطه معکوس دارد. به‌طوری‌که با افزایش عوامل Bio12 (بارش سالانه) و Bio18 (بارش گرم‌ترین فصل سال)، احتمال حضور گونه افزایش و با افزایش عوامل Bio14 (بارش خشک‌ترین ماه) و Bio17 (بارش خشک‌ترین فصل سال) ابتدا روند حضور گونه افزایشی و سپس به‌صورت کاهشی است. به‌طوری‌که با افزایش بارش خشک‌ترین ماه از ۳۰ میلی‌متر تا حدود ۹۰ میلی‌متر احتمال حضور گونه افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش بارش خشک‌ترین فصل سال تا حدود ۳۰۰ میلی‌متر احتمال حضور گونه افزایش و پس از آن سیر نزولی به‌خود می‌گیرد. هم‌چنین، بیش‌ترین احتمال حضور گونه در محدوده بارش سالانه ۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ میلی‌متر و درجه حرارت سالانه ۱۰- ۵ درجه سانتی‌گراد است و از میان عوامل توپوگرافی بیش‌ترین حضور گونه قره‌قات در شیب حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد مشاهده شد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]



شکل ۶: مهم‌ترین منحنی‌های پاسخ برای گونه *V. arctostaphylos* در منطقه مورد مطالعه

باتوجه به این‌که تعادل و پایداری در جامعه گیاهی به معنای آنتروپی حداکثر است، دقت پایین در داده‌های ورودی می‌تواند در تفکیک جوامع توسط روش آنتروپی حداکثر بسیار تأثیرگذار باشد. صحت مدل آنتروپی حداکثر و میزان تطابق بین نقشه پیش‌بینی و نقشه واقعی پراکنش گونه با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل محاسبه شد که در منطقه مورد مطالعه مقدار شاخص کاپا ۰/۶۷ به‌دست آمد که جزء توافق خوب برای مدل پیش‌بینی کننده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از مدل‌سازی آنتروپی حداکثر تأثیر ۲۲ عامل محیطی (۱۹ متغیر زیست اقلیمی (Bio) و ۳ متغیر توپوگرافی) بر روی پراکنش گونه قره‌قات در سطح جهانی بررسی شد. مطالعه پراکنش جهانی گونه‌های گیاهی می‌تواند در راستای شناخت گونه‌های کمیاب، جمعیت بسیار کم و پراکنش فضایی محدود آن‌ها مؤثر باشد. مطالعات متعددی به بررسی پراکنش جهانی گونه‌های گیاهی پرداخته‌اند (۲۹، ۳۱ و ۶۰). نتایج پژوهش حاضر نشان داد میزان مساحت زیر منحنی (AUC) برابر با

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

۰/۹۷۶ بود که بر اساس نظریه هافمن و همکاران (۲۰۰۸) مدل در شناسایی مطلوب‌ترین مناطق پراکنش گونه، دارای صحت و کارایی در سطح خیلی خوب است. بر اساس نمودار جک‌نایف که برای تعیین متغیرهای تأثیرگذار کاربرد دارد؛ به‌ترتیب متغیرهای بارش خشک‌ترین فصل سال (Bio17) و بارش گرم‌ترین فصل سال (Bio18) دارای بیش‌ترین تأثیر در پراکنش گونه است و متغیرهای درجه حرارت فصلی (Bio4)، بارش سالانه (Bio12) و بارش خشک‌ترین ماه (Bio14) نیز در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند و از میان عوامل توپوگرافی تأثیر متغیر درصد شیب نسبت به عوامل دیگر مورد اهمیت بود. نتایج منحنی‌های پاسخ در منطقه نشان داد که احتمال حضور گونه *V. arctostaphylos* با عوامل بارش سالانه (Bio12)، بارش خشک‌ترین ماه (Bio14)، بارش خشک‌ترین فصل سال (Bio17)، بارش گرم‌ترین فصل سال (Bio18) و شیب رابطه مستقیم و با عامل درجه حرارت فصلی (Bio4) رابطه معکوس دارد. به‌طوری‌که با افزایش عوامل Bio12 (بارش سالانه) و Bio18 (بارش گرم‌ترین فصل سال)، احتمال حضور گونه افزایش و با افزایش عوامل Bio14 (بارش خشک‌ترین ماه) و Bio17 (بارش خشک‌ترین فصل سال) ابتدا روند حضور گونه افزایشی و سپس به‌صورت کاهشی بود. طبق نتایج، عوامل کلیدی محدودکننده رویشگاه‌های مناسب شامل بارش خشک‌ترین فصل سال، بارش گرم‌ترین فصل سال و درجه حرارت فصلی است. بیش‌ترین احتمال حضور گونه در محدوده بارش سالانه ۱۲۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌متر و درجه حرارت سالانه ۱۰-۵ درجه سانتی‌گراد است و از میان عوامل توپوگرافی بیش‌ترین حضور گونه قره‌قات در شیب حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد مشاهده شد. این نتایج فاکتورهای مؤثر بر پراکنش گونه با مطالعات عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) و معمری و همکاران (۲۰۲۲) در مدل‌سازی پراکنش گونه قره‌قات در کشور ایران مطابقت دارد؛ تنها به دلیل اینکه پراکنش جهانی گونه مطالعه شده است، بارش سالانه باتوجه به موقعیت مکانی نقاط، محدوده زیادی را به خود اختصاص داده است. ایشان بیان کردند که متغیرهای ارتفاع، بارندگی و دما به‌ترتیب مهم‌ترین متغیرها در پراکنش *V. arctostaphylos* بوده است و میزان سطح زیر منحنی (AUC) حدود ۰/۹۸۲ به‌دست آمد که نشانگر پیش‌بینی خوب مدل بود. همچنین، میرجلیلی و همکاران (۱۴۰۰) در مدل‌سازی پراکنش گیاه گز پرشاخه (*Tamarix ramosissima* Ledeb.) در استان اصفهان را بر مبنای مدل آنتروپی حداکثر، بیان کردند که کیفیت مدل برای این گونه برابر با ۰/۹۶۷ و ارزیابی صحّت مدل با استفاده از ضریب آماری کاپا برابر با ۰/۸۰ به‌دست آمد و عوامل محیطی مربوط به توپوگرافی شامل درصد شیب و عوامل اقلیمی میزان بارش در سردترین فصل (Bio19)، بارندگی سالانه (Bio12)، محدوده سالانه دما (Bio7) و میانگین دمای سردترین فصل (Bio11) به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در پراکنش گونه دارا بودند. حسینی و همکاران (۲۰۲۴) نیز در مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش آینده سه گونه از جنس *Ferulago* در ایران با استفاده از مدل MaxEnt عملکرد خوب تا عالی این مدل‌سازی را با سطح زیر منحنی بیش از ۰/۸۵را نشان دادند و عوامل درصد شیب و تابش خورشیدی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گونه‌ها بود. در مطالعات انجام شده در سطح جهانی نیز مطالعات مختلفی بر روی پراکنش گیاهان مختلف با استفاده از مدل MaxEnt انجام شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (۱۱، ۱۹، ۲۱، ۳۷ و ۶۲). گو و همکاران (۲۰۲۳) در تحلیل پیش‌بینی پراکنش مناسب *Polygonatum kingianum* در شرایط مختلف اقلیمی بر اساس مدل MaxEnt با بررسی متغیرهای محیطی مانند اقلیم، خاک و توپوگرافی، نتیجه گرفتند در مقیاس کشور چین، دما و بارندگی عوامل مهمی بودند که بر پراکنش گیاه دارویی تأثیر گذاشتند و در مقیاس ملی، Bio7، Bio12، Bio17، Bio11، و ارتفاع متغیرهای کلیدی موثر بر پراکنش *P. kingianum* بودند. ژو و همکاران (۲۰۲۴) در پیش‌بینی توزیع گونه *Pyrethrum tatsienense* در حال انقراض در چین با استفاده از مدل Maxent با مقدار سطح زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۹۸ نتیجه گرفتند که ارتفاع و گرم‌ترین فصل بارش (Bio18) عوامل محدود کننده اصلی برای زیستگاه مناسب این گونه هستند. همانطور که برای پژوهش حاضر نیز صادق است، اقلیم به عنوان عامل اصلی مؤثر بر پراکنش گونه‌ها در مقیاس جهانی در نظر گرفته می‌شود (۲۹). عامل دمای هوا و ارتفاع از سطح دریا و میزان بارش از مؤثرترین عوامل در انتشار و تفکیک گونه‌ها هستند (۱).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

رطوبت ناکافی و سازگاری ضعیف دما به طور قابل توجهی پتانسیل فتوسنتزی گیاهان را کاهش می‌دهد و مستقیماً بر بقای آن‌ها تأثیر می‌گذارد (۵۶).

بر اساس صحت مدل آنتروپی حداکثر با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل محاسبه شد که در منطقه مورد مطالعه مقدار ۰/۶۷ به‌دست آمد که نشان‌دهنده توافق خوب مدل پیش‌بینی‌کننده است. بر اساس مطالعات میرجلیلی و همکاران (۱۴۰۰)؛ طویلی و همکاران ۱۴۰۱)؛ برنا و همکاران (۲۰۲۰)؛ دو و همکاران (۲۰۲۱)؛ معمری و همکاران (۲۰۲۲)؛ حسینی و همکاران (۲۰۲۴) و نقوین و همکاران (۲۰۲۴) مدل‌سازی MaxEnt می‌تواند به‌خوبی پراکنش گونه مورد بررسی آن‌ها را پیش‌بینی نماید. مدل‌هایی نظیر MaxEnt و مشابه آن که بر اساس نمونه‌برداری صریح و روشن برآورد احتمال وقوع را محاسبه می‌کنند، باید به‌عنوان جایگزین بعضی از مدل‌های توزیع گونه‌ای در عرصه مراتع در نظر گرفته شوند (۲۵).

با توجه به تغییرات اقلیمی و شکنندگی اکوسیستم‌ها، اهمیت حفظ پوشش گیاهی در جنگل‌ها و مراتع و نقش آن در حفظ منابع اصلی مانند آب و خاک برکسی پوشیده نیست. شناسایی و تجزیه و تحلیل رویشگاه‌های مناسب برای کشت و تکثیر این گونه‌های ارزشمند از طریق برنامه‌های حمایتی و مدیریتی مانند کاهش دفعات برداشت بی‌رویه و غیر اصولی و در سطح انبوه گیاه خوراکی و دارویی قره‌قات و جلوگیری از تخریب مراتع مشجر علاوه بر ساکنان بومی منطقه، از استان‌های همجوار به بازسازی رویشگاه‌های طبیعی گونه کمک می‌کند و موجب کاهش انقراض گیاه قره‌قات خواهد شد. نتایج این مطالعه نشان داد که روش آنتروپی حداکثر قادر است برای رویشگاه گونه قره‌قات که دارای شرایط رویشگاهی منحصر به‌فردی است، مدل پیش‌بینی خوبی را فراهم آورد. با استناد به نتایج این پژوهش و با توجه به اینکه در حفاظت از گونه‌های گیاهی در زیستگاه‌های طبیعی و اصلی آن‌ها که به نوعی با تعارض بهره‌برداری‌های انسانی مواجه هستیم، باید انواع رویشگاه‌ها، عوامل تهدید، نگرش، فرهنگ و رفتارهای اجتماعی جوامع بومی و تنوع زیستی این گونه در نظر گرفته شود. هم‌چنین با بررسی سایر عوامل بوم‌شناختی مانند تحت اشکوب بودن گونه توسط درخت راش (*Fagus orientalis* Lipsky.) و گونه‌های همراه موجود و استفاده از مدل‌سازی‌های کاربردی و کالیبره‌شده با شرایط اقلیمی و خصوصیات خاکی در سطح جهانی می‌توان برای پیش‌بینی رویشگاه این گونه راهکارهای مؤثری پیشنهاد داد. به‌طورکلی هر گونه گیاهی با توجه به خصوصیات منطقه رویش، نیازهای اکولوژیک و دامنه بردباری با عوامل اقلیمی، خصوصیات خاکی و عوامل توپوگرافی رابطه معنی‌داری دارد. بنابراین نتایج به‌دست آمده قابل تعمیم به مناطق مشابه با شرایط رویشگاهی متناسب است (۴۸). براین اساس از نتایج پژوهش حاضر می‌توان در جهت اصلاح و احیاء رویشگاه‌های گونه قره‌قات در سطح جهانی و مناطق با شرایط رویشگاهی مشابه، بدون صرف هزینه‌های کلان اقتصادی، برای مقاصد مدیریتی و برنامه‌ریزی در راستای حفاظت از رویشگاه گونه دارویی و نادر قره‌قات در برابر دخالت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری استفاده کرد. هرچند در این مطالعه تنها به بررسی عوامل اقلیمی و توپوگرافی به جهت نمایش مناطق مستعد حضور گونهٔ قره‌قات بسنده شد، اما به‌منظور توانایی درک عمیق‌تر و شناخت بهتر برای احیاء مناطق آسیب‌دیده و حفظ مناطق در معرض خطر و همچنین بهبود توانایی مدل‌های بوم‌شناختی در پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوهٔ گونه‌های گیاهی، علاوه‌بر این عوامل باید عوامل دیگری نظیر عوامل انسانی، انواع بهره‌برداری‌ها، چرای دام، حیات‌وحش، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، کاربری اراضی، شرایط هیدرولوژیکی، وضعیت اقتصادی و اجتماعی و بسیاری از عوامل دیگر که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در پراکنش این گونه تأثیر دارند بررسی شوند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

References

1. Aghajanlou, F., A. Ghorbani, M.A. Zare Chahouki, R. Mostafazadeh & K. Hashemi Majed, 2018. Ecological Survey of the Presence and Absence of *Ferula ovina* (Boiss.) Boiss. and Ferula persica Willd. in North-Western Rangelands of Iran (Case Study: Zanjan Province). Journal of Rangeland Science, 8(4): 352-362.
2. Alaaldinvandi, A., 2021. The affective factors on pastures destruction and identifying its protection aproaches. Journal of Urban Studies on Space and Place, 1400(20): 71-90. (In Persian)
3. Anderson, R.P., D. Lew & A.T. Peterson, 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. Journal of Ecological Modelling, 162: 211–232.
4. Azimi Motem F., R. Talai, F. Asiabizadeh & M. Houshyar, 2011. A survey on flora, life forms and geographical distribution of plant species in the protected forests of Fandoghlu (Ardabil province). Taxonomy and Biosystematics. 3rd year, 9: 75-88. (In Persian)
5. Azizi Kalesar, M., M. Moameri & A. Ghorbani, 2022. Ecological parameters affecting the distribution of *Vaccinium arctostaphylos* L. in ecotone rangelands of Namin County, Iran. Ecopersia, 10(2): 153-164.
6. Azizi Kalesar, M., M. Moameri, A. Ghorbani, M. Fathi & L. Khalasi Ahvazi, 2020. Investigating the effective factors on the distribution of medicinal plant species (*Vaccinium arctostaphylos* L.) in rangelands of Namin – Ardabil. Mohaghegh Ardabili, 118 p. (In Persian)
7. Bedia, J., J. Busque & J. M. Gutierrez, 2011. Predicting plant species distribution across an alpine rangeland in northern Spain. A comparison of probabilistic methods. Journal of Applied Vegetation Science, 14: 415-432.
8. Borna, F., R. Tamartash, M.R. Tatian & V. Gholami, 2020. Habitat suitability modelling of *Onobrychis cornuta* using Ecological Niche Factor Analysis in Rangeland of Baladeh, Nour. Plant Research, 27(1): 98-111.
9. Celik, H. & I. Koca, 2013. Pomological and chemical properties of some Caucasian whortleberry (*Vaccinium arctostaphylos* L.) grown in Guneyse-Rize, Turkey. In Proceedings of International Caucasian Forestry Symposium, 24-26.
10. Davis, P.H., 1978. Flora of Turkey and The East Aegean Islands, Ed. P.H. Davis, 6, at the University press, Edinburg, 568p.
11. Du, Z., Y. He, H. Wang, C. Wang & Y. Duan, 2021. Potential geographical distribution and habitat shift of the genus *Ammopiptanthus* in China under current and future climate change based on the MaxEnt model. Arid Environments, 184. 104328, ISSN 0140-1963.
12. Emad, M., F. Gheibi, S.M. Rasouli, R. Khanjanzadeh & S. Mohammadi Jozani, 2012. Book of Ghareghat industrial medicinal plant. Tehran. Pooneh Publication, 40p. (In Persian)
13. Fathi, M., Naghdi Badi, H.A., Ghanbari, A.R., Asghari-Zakariac, R. & Sedaghatehoor, Sh. 2019. Pomological and phytochemical diversity in Iranian populations of Caucasian whortleberry (*Vaccinum arctostaphylos* L.). Scientia Horticulturae. 243(3):107-115
14. Gaston, A. & J. I. Garcia-Vinas, 2011. Modelling species distributions with penalised logistic regressions: A comparison with maximum entropy models. Journal of Ecological Modelling, 222: 2037-2041.
15. Giovanelli, J.G.R., M.F.D. Siqueira, C.F.B. Haddad & J. Alexandrina, 2010. Modelling a spatially restricted distribution in the Neotropics: how the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. Ecological Modelling, 221: 215-224.
16. Ghorbani Gozhdi, H., 2014. An introduction to the basics of medicinal, spice and aromatic plants, Shahrood University Publications, 512 p. (In Persian)
17. Graham, C.H., S. Ferrier., F. Huettman., C. Moritz & A.T. Peterson, 2004. New developments in museum based informatics and applications in biodiversity analysis. Journal of Trends in Ecology and Evolution, 19(9): 497–503.
18. Guisan, A. & N.E. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling, 135: 147-186.
19. Guo, Y., Sh. Zhang, Sh. Tang, J. Pan, L. Ren, X. Tian, Zh. Sun & Z. Zhang, 2023. Analysis of the prediction of the suitable distribution of *Polygonatum kingianum* under different climatic conditions based on the MaxEnt model. Frontiers in Earth Science, 11.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

20. Haffman, D.J., S. Narumalani., D.R. Mishra., P. Merani & R.J. Wilson, 2008. Predicting potential occurrence and spread of invasive plant species along the North Platte River, Nebraska. Invasive Plant Science and Management, 1: 359-367.
21. Hao, Y., P. Dong, L. Wang, X. Ke, X. Hao, G., He, Y. Chen & F. Guo, 2024. Predicting the Potential Distribution of *Hypericum perforatum* under Climate Change Scenarios Using a Maximum Entropy Model. Biology, 13(6): 452 p.
22. Hasanlou, T., M. Jafarkhani Kermani, Y. Dalvand & SH. Rezazadeh, 2019. A complete review on genus *Vaccinium* and Iranian Ghareghat. Medicinal Plants, 18(72): 46-65. (In Persian)
23. Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 25(15): 1965-1978.
24. Hijmans, R.J. & J. Elith, 2017. Species Distribution Modelling with R. Computer Science, Mathematics, Environmental Science, Biology, 79p.
25. Hosseini, N., M. Ghorbanpour & H. Mostafavi, 2024. The influence of climate change on the future distribution of two *Thymus* species in Iran: MaxEnt model-based prediction. BMC Plant Biology 24, 269.
26. Hosseini, N., H. Mostafavi & S.M.M. Sadeghi, 2024. Impact of climate change on the future distribution of three *Ferulago* species in Iran using the MaxEnt model. Integrated Environmental Assessment and Management, 20: 1046-1059.
27. Jahedi Pour, S., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati & P. Rezvani Moghaddam, 2020. The Effect of Ecological Factors on Plant Species Biodiversity of Natural Ecosystem in Quchan Baharkish. Agroecology, 11(4): 1449-1465. (In Persian)
28. Kosanic, A., K. Anderson, S. Harrison, T. Turkington & J. Bennie, 2018. Changes in the geographical distribution of plant species and climatic variables on the West Cornwall peninsula (South West UK). PLoS ONE, 13(2): 1-18.
29. Khuroo, R., A.A. Khuroo, B. Charles, M. Hamid, I. Rashid & N.A., Aravind, 2019. Global distribution modelling, invasion risk assessment and niche dynamics of *Leucanthemum vulgare* (Ox-eye Daisy) under climate change. Scientific reports. 9. 10.1038/s41598-019-47859-1.
30. Latimer, A.M., S.S. Wu, A.E. Gelfand & J.A. Silander, 2006. Building statistical models to analyze species distributions. Ecological Applications, 16: 33-50.
31. Lee, C.M., D.S. Lee, T.S. Kwon, M. Athar & Y.S. 2021. Park Predicting the Global Distribution of Solenopsis geminata (Hymenoptera: Formicidae) under Climate Change Using the MaxEnt Model. Insects. 12(3):229.
32. Lembrechts, J.J., I. Nijs & J. Lenoir, 2019. Incorporating microclimate into species distribution models. Ecography, 42(7): 1267-1279.
33. Mirjalili, S. A., Z. Jaberalansar & M.A. Ghavampour, 2022. Modeling The Distribution of *Tamarix ramosissima* Ledeb. In Isfahan Province Based on Maximum Entropy Model (MAXENT). Journal of Arid Biome, 11(2): 45-55. (in persian)
34. Moameri, M., M. Azizi Kalesar, A. Ghorbani, L. Khalasi Ahvazi & M. Abbasi Khalaki, 2022. Determination of effective factors on distribution of medicinal species of *Vaccinium arctostaphylos* L. using MaxEnt model (case study: Namin Rangelands, Ardabil, Iran). Journal of Rangeland Science, 12(4): 375-389.
35. Naghibi, S. A., K. Ahmadi & A. Daneshi, 2017. Application of support vector machine, random forest, and genetic algorithm optimized random forestmodels in groundwater potential mapping. Water resources management, 31: 2761-2775.
36. Negga, H., 2007. Predictive modelling of amphibian distribution using ecological survey data: a case study of central Portugal. M.Sc. Thesis. ITC, the Netherlands. 2005-2025.
37. Nguyen, D. N.T., L. Nguyen, D. Tran, L. Nguyen, P. Thanh, N.T., Duc, T. Dinh & T. Nguyen, 2024. Influence of environmental factors on habitat of *Jasminum subtriplinerve* in Central Vietnam. Multidisciplinary Science Journal, 6. 2024192. 10.31893/multiscience.2024192.
38. Nickavar, B. & GhR. Amin, 2004. Anthocyanins from *Vaccinium arctostaphylos* Berries. Pharmaceutical Biology, 42(4–5): 289–291.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

39. Omidi, J., S. Abdolmohammadi & M. Bakhshipour, 2021. A review of the medicinal plant *Vaccinium arctostaphylos* and its applications. Plant and Biotechnology, 16(1): 63-72. (In Persian)
40. Ozkan, G., S. Ercisli, A. Zeb, G. Agar, H. I. Sagbas & G. Ilhan, 2018. Some Morphological and Biochemical Characteristics of Wild Grown Caucasian Whortleberry (*Vaccinium arctostaphylos* L.) Genotypes from Northeastern Turkey. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 47(2): 378–383.
41. Phillips, S.J., M. Dudık & R.E. Schapire, 2004. A maximum entropy approach to species distribution modelling. In: Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, ACMPress, New York. 655–662.
42. Phillips, S. J., R. P. Anderson & R. E. Schapire, 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231–259.
43. Rana, S.K., H.K. Rana, S.K. Ghimire, K.K. Shrestha & S. Ranjitkar, 2017. Predicting the impact of climate change on the distribution of two threatened Himalayan medicinal plants of liliaceae in Nepal. Mountain Science, 14: 558- 570.
44. Robinson, L. & J.A. Fordyce, 2017. Species-free species distribution models describe macro ecological properties of protected area networks. Plus One, 12:1-19.
45. Samadi Khanghah, S., M. Moameri, A. Ghorbani, R. Mostafazadeh, A. Biswas, 2022. Modeling potential habitats and predicting habitat connectivity for Leucanthemum vulgare Lam. in northwestern rangelands of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 194 (2), 109.
46. Sedaghat Hour, Sh., 2012. Medicinal and aromatic trees and shrubs (propagation, garden construction and breeding), Publications of Islamic Azad University, Rasht, 240p. (In Persian)
47. Sedaghat Hour, Sh., A. K. Kashi, A. Talaei & Sh. Saeidi Mehrvarz, 2007. Morphological characteristics and examination of the cold requirement and germination conditions of *Vaccinium arctostaphylos* L. seeds. Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(1): 1-10. (In Persian)
48. Shokrollahi, SH., H.R. Moradi & GH.A. Dianati Tilaki, 2013. A survey of some environmetal factors affecting on distribution of *agropyron cristatum* (Case study: Polur summer rangelands, Mazandaran province). Watershed Management Resources, 25(4): 111-119. (In Persian)
49. Sofaer, H. R., C. S. Jarnevich, I. S. Pearse, R. L. Smyth, S. Auer, G. L. Cook, T.C. Edwards, G. F. Guala, T. G. Howard, J. T. Morisette & H. Hamilton, 2019. Development and Delivery of Species Distribution Models to Inform Decision-Making, BioScience, 69(7): 544–557.
50. Sweet, J.A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Journal of Science, 240: 1285-1293.
51. Tavili, A., S. M. Hosseini, M. Jafari & A. Golkarian, 2022. Investigation of development probability of *Dorema ammoniacum* in arid rangelands of Southern Khorassan regarding environmental conditions using MAXENT. Journal of Range and Watershed Managment, 75(4): 591-605.
52. Teimourzadeh, A., A. Gorbani & A.H. Kavianpour, 2015. Study on the flora, life forms and chorology of south eastern of Namin forests (Asi-Gheran, Fandoghloo, Hasani and Bobini), Ardabil Province. Plant research (Iranian Journal of Biology), 28(2): 264-275. (In Persian)
53. Tsuda H., M. Yamasak, K. Yoshioka, H. Komatsu & H. Kunitake, 2012. Induce sectional Hybryd of Shashanbo with cultivated Highbush Blueberry. 10th International *Vaccinium* and other super fruits. USA.
54. Venette, R.C., D.J. Kriticos, R.D. Magarey, F.H. Koch, R.H.A. Baker, S.P. Worner, N.N.G. Raboteaux, D.W. McKenney, E. J. Dobesberger, D. Yemshanov, P.J. De Barro, W.D. Hutchison, G. Fowler, T.M. Kalaris & J. Pedlar, 2010. Pest risk maps for invasive alien species: A roadmap for improvement. BioScience, 60(5): 349-362.
55. Warren, D.L., N.J. Matzke & T.L. Iglesias, 2019. Evaluating species distribution models with discrimination accuracy is uninformative for many applications. BioRxiv, 684399.
56. Xu, M. H. & X. Xue, 2013. Analysis on the Effects of Climate Warming on Growth and Phenology of Alpine Plants. Journal of Arid Land Resources and Environment, 27: 137–141.
57. Yuksek, F., L. Altun, O. Karaoz, K. Sengonul, T. Yuksek & M. Kucuk, 2013. The effect of altitude on soil properties and leaf traits in wild *Vaccinium arctostaphylos* L. populations in the forest understory in Firtina River basin. In Proceedings book from international Caucasian forestry symposium, 577-583.
58. Zare Chahooki, M.A., H. Piri Sahragard & H. Azanivand, 2013. Habitat distribution modeling of some halophyte plant species using Maximum Entropy Method (Maxent) in Hoze Soltan rangelands of Qum Province. Rangeland, 7(3): 212-221. (In Persian)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]

59. Zare Chahouki, M.A., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2018. Prediction of potential habitat for *Stipa barbata* species using maximum entropy model (Case Study: Taleghan Miany rangelands). Iranian Journal of Rangeland, 12(1): 35-47.
60. Zhang, Y., J. Tang, G. Ren, K. Zhao & X. Wang. 2021. Global potential distribution prediction of Xanthium italicum based on Maxent model. Scientific Reports, 11, 16545.
61. Zhang, l., Z. Jing, Z. Li, Y. Liu & S. Fang, 2019. Predictive modelling of suitable habitats for *Cinnamomum camphora* L. presl using MaxEnt model under climate change in China. International Environmental Research and Public Health, 16(17): 31-85.
62. Zhu, D. P., L. Yang, Y. Li, P. Huang, B. Yao, Z. Kong & X. Yangzhou, 2024. Predicting the Potential Distribution of the Endangered *Pyrethrum tatsienense* in China Using an Optimized Maxent Model Under Climate Change Scenarios. Ecology and Evolution, 14(11). 10.1002/ece3.70503.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1404.19.1.7.0]