Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Investigating the Potential Habitat of *Bromus stenostachyus* Boiss. in Mazandaran Rangelands Using an Ensemble Modeling Approach

Zeinab Jafarian[*1], Mohadeseh Amiri[2]

1. Corresponding Author; Prof., Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: Jafarian79@yahoo.com
2. PhD Graduated of Rangeland Science, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2024; Vol 17, Issue 4

Article history:
Received: 16.08.2022
Revised: 04.04.2023
Accepted: 15.04.2023

Keywords:
Species Distribution Modeling,
Habitat Suitability,
Bioclimatic variables,
Climate change scenarios

Abstract

Background and objectives: Environmental factors play a pivotal role in determining the flora and fauna distribution in a region, contributing to increased ecosystem biodiversity and species composition on a large scale. Given the intricate nature of natural systems, species distribution models are employed to comprehend the impact of these factors on species' potential niches. In recent studies, bioclimatic variables from the CHELSA database (1979-2013), derived from temperature and precipitation data interpolation, have been widely used for this purpose.

Methodology: This study investigates the potential distribution and preference tendencies of Bromus stenostachyus in the Hyrcanian rangelands of Mazandaran province using CHELSA bioclimatic variables, along with physiographic and anthropogenic factors. Stratified random sampling, based on physiognomy-florestic structure, was employed to collect species occurrence data at one square kilometer resolution. After selecting key environmental variables, an ensemble method incorporating seven modeling algorithms—Generalized Linear Model (GLM), Gradient Boosting Machine (GBM), Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS), Random Forest (RF), Artificial Neural Network (ANN), Maximum Entropy (Maxent), and Classification Tree Analysis (CTA)—was utilized. Model performances were evaluated using area under the curve (AUC) and threshold-dependent measures such as True Skill Statistic (TSS), Sensitivity, and Specificity. Sensitivity analysis was conducted to determine the importance of environmental variables, and species response curves were plotted based on the most efficient model to identify optimal ecological conditions.

Results: Based on validation criteria, all the fitted models showed excellent performance to predict the species habitat. The ensemble model outperformed single models, and among single models, GBM and RF showed the best performance. According to the results of sensitivity analysis, maximum temperature of warmest month (Bio5) was determined the most important variable to fit the species distribution models, in a way that explained more than a quarter of changes in the distribution. After averaging ten model runs, the species potential distribution map was produced under single models and the ensemble model. Because the

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

prediction of each model depends on its mathematical functions, the distribution models had different results. But in general, the species habitats are distributed in parts of province where the elevation and precipitation are higher than the average elevation and precipitation in the whole province, but their temperature is lower than the average temperature of the province. On the response curves, the optimum habitats for the species were located in areas where the maximum temperature of warmest month is less than 23 ˚C, temperature annual range is less than 32 ˚C, precipitation of wettest month is at most 100 mm, isothermality is less than 26 and temperature seasonality is in the range of 63-68.

Conclusion: The ensemble modeling approach yields more realistic simulations of species distribution by emphasizing common areas of agreement among single models. The study results can inform practical planning for the preservation and management of Hyrcanian rangelands, as well as suggest suitable species for reclamation, rehabilitation, and restoration efforts in ecologically similar areas. These findings facilitate optimal exploitation and informed management decisions while preserving native species.

Cite this article: Jafarian, Z., M. Amiri, 2024. Investigating the Potential Habitat of Bromus stenostachyus Boiss in Mazandaran Rangelands Using an Ensemble Modeling Approach. Journal of Rangeland, 17(4): 513-528.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

بررسی رویشگاه پتانسیل گونه *Bromus stenostachyus* Boiss. در مراتع مازندران با رویکرد مدل‌سازی اجماعی

زینب جعفریان*[۱]، محدثه امیری[۲]

۱. استاد گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: Jafarian79@yahoo.com

۲. دانش‌آموخته دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۲؛ جلد ۱۷، شماره ۴

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۵/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

واژه‌های کلیدی:
رویکرد اجماعی،
متغیرهای زیست‌اقلیمی،
مدل‌سازی رویشگاه،
منحنی عکس‌العمل.

چکیده

سابقه و هدف: عوامل محیطی تعیین‌کننده پوشش گیاهی و جانوری هر منطقه هستند و در مقیاس وسیع موجب تنوع در زیست‌بوم‌ها و ترکیب گونه‌ای می‌شوند. به‌دلیل پیچیدگی سیستم‌های طبیعی، جهت درک تأثیر این عوامل بر آشیان بالقوه گونه‌ها از مدل‌های پراکنش گونه‌ای استفاده می‌شود. اخیراً در عمده مطالعات برای این منظور، متغیرهای زیست‌اقلیمی پایگاه داده CHELSA (۲۰۱۳-۱۹۷۹) حاصل از میانیابی داده‌های دما و بارش مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر پتانسیل متغیرهای زیست‌اقلیمی پایگاه داده چلسا همراه با متغیرهای فیزیوگرافی و انسانی مؤثر بر پراکنش بالقوه و گرایش ترجیحی جارو علفی کوهسری با نام علمی *Bromus stenostachyus* Boiss در مراتع هیرکانی استان مازندران بررسی شد. نمونه‌برداری داده‌های رخداد گونه به روش تصادفی- طبقه‌بندی شده، در قالب پیکسل‌های یک کیلومترمربعی و بر اساس ساختار فیزیونومی-فلورستیک صورت گرفت. پس از انتخاب مهم‌ترین متغیرهای محیطی جهت پیش‌بینی پراکنش، هفت الگوریتم مدل‌سازی شامل مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (GLM)، افزایشی تعمیم‌یافته (GBM)، رگرسیون تطبیقی چند متغیره (MARS)، جنگل تصادفی (RF)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، حداکثر آنتروپی (Maxent) و تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی (CTA) در چارچوب روش اجماعی به کار رفتند. پس از تعیین آستانه مناسب با رویکرد برابرسازی حساسیت-ویژه‌انگاری، عملکرد مدل‌ها علاوه بر استفاده از شاخص سطح زیر منحنی، با شاخص‌های وابسته به آستانه شامل TSS، حساسیت و ویژه‌انگاری نیز ارزیابی شد. اختلاف معنی‌دار بین کارایی مدل‌ها با آزمون آنالیز واریانس روی مقادیر AUC مشخص گردید. تعیین اهمیت متغیرهای محیطی مؤثر بر مدل‌سازی پراکنش با رویکرد آنالیز حساسیت OAT و به تعداد متغیرهای مستقل مدل‌ها انجام شد. سپس، منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی بر اساس مدل با بیشترین کارایی ترسیم و مقدار بهینه و دامنه بردباری اکولوژیک آن تعیین گردید.

نتایج: بر اساس معیارهای صحت‌سنجی، تمامی مدل‌های برازش داده شده کارایی عالی برای پیش‌بینی رویشگاه گونه نشان دادند. مدل اجماعی نسبت به مدل‌های مجزا و از بین مدل‌های مجزا نیز مدل افزایشی تعمیم‌یافته و جنگل تصادفی بهترین عملکرد را نشان دادند. طبق نتایج آنالیز حساسیت، حداکثر دمای گرمترین ماه (Bio5)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

بیشترین اهمیت را در برازش مدل‌های پراکنش نشان داد، به گونه‌ای که به تنهایی بیش از یک چهارم تغییرات را توجیه نمود. پس از میانگین‌گیری ده مرتبه تکرار مدل‌ها، نقشه پراکنش بالقوه گونه تحت مدل‌های مجزا و مدل اجماعی تولید شد. بدلیل اینکه پیش‌بینی هر مدل به توابع ریاضیاتی آن بستگی دارد، مدل‌های پراکنش نتایج متفاوتی داشتند. اما در مجموع، رویشگاه‌های گونه در بخش‌هایی از استان پراکنده شده‌اند که میزان ارتفاع و بارندگی در آنها از میانگین ارتفاع و بارندگی در کل استان بیشتر، اما میزان درجه حرارت آنها از میانگین درجه حرارت استان کمتر است. روی منحنی‌های عکس‌العمل، رویشگاه مطلوب گونه در مناطقی واقع شده که حداکثر درجه حرارت در گرمترین ماه از ۲۳ و دامنه تغییرات سالانه دما از ۳۲ درجه سانتیگراد کمتر باشد، میزان بارندگی در مرطوب‌ترین ماه حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر، شاخص ایزوترمالیتی کمتر از ۲۶ و تغییرات فصلی دما نیز در دامنه ۶۸-۶۳ باشد.

نتیجه‌گیری: مدل اجماعی می‌تواند شبیه‌سازی واقعی‌تری از گونه را نشان دهد، زیرا بر مناطق مشترک توافق بین مدل‌های مجزا تأکید می‌کند. نتایج این مطالعه را می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های کاربردی جهت حفظ و مدیریت مراتع هیرکانی و همچنین پیشنهاد گونه مناسب جهت اصلاح، احیا و بازسازی آنها در مناطق با شرایط اکولوژیک مشابه به کار برد. در واقع، نتایج حاصل به کارشناسان در بهره‌برداری بهینه و اتخاذ تصمیمات مناسب مدیریتی با حفظ گونه‌های بومی کمک می‌کند.

استناد: جعفریان، ز.، م. امیری، ۱۴۰۲. بررسی رویشگاه پتانسیل گونه Boiss *Bromus stenostachyus* در مراتع مازندران با رویکرد مدل‌سازی اجماعی. مرتع، ۱۷(۴): ۵۲۸-۵۱۳.

DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

مقدمه

مراتع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی تجدید شونده، علاوه بر تأمین بخش اعظم تولیدات دامی، در بهبود کیفیت محیط زیست و تولید پایدار گیاهان صنعتی و دارویی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (۱). از آنجاییکه برآیند عمل و رفتار اکوسیستم‌های مرتعی در پوشش گیاهی آنها نمایان می‌گردد، گیاهان مهم‌ترین اجزای این اکوسیستم‌ها محسوب می‌شوند. گونه‌های گیاهی با توجه به خصوصیات منطقه رویش، دامنه بردباری و نیازهای اکولوژیک با برخی عوامل محیطی ارتباط دارند (۱ و ۱۳). لایه‌های عوامل محیطی که خصوصیات زیست‌فیزیکی را نشان می‌دهند، در روابط و فرآیندهای گونه-محیط نقش مهمی ایفا می‌کنند. در واقع، احتیاجات و آستانه تحمل متفاوت گونه‌های گیاهی نسبت به شرایط مختلف محیطی سبب ایجاد تیپ‌های مختلف زیستی در گیاهان و تشکیل رویشگاه‌ها می‌شود (۲۳). لذا تعیین عواملی که حضور و پراکنش گونه‌های گیاهی را در رویشگاه‌های مرتعی کنترل می‌کنند از مقدمات و ضروریات بررسی پوشش گیاهی به حساب می‌آید. الگوهای پراکنش گیاهان نتیجه تأثیر عوامل مختلف محیطی، ویژگی‌های فردی گیاهان و رفتارهای بین گونه‌ای می‌باشند (۱۷). در مقیاس‌های وسیع، مدل‌سازی پراکنش پوشش گیاهی یا اکوسیستم‌ها باید عمدتاً بر اساس اقلیم باشد، زیرا اقلیم مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده است، اما در مقیاس‌های محلی پیچیدگی‌ها آشکارتر شده و تأثیر عوامل اقلیمی کاهش می‌یابند (۳۷). بر اساس قانون "ژئواکولوژیک انتشار زاخاروف"، پستی و بلندی نیز در ترکیب گونه‌ای و درصد پوشش گونه‌ها مؤثر است (۱۴). تغییرات دامنه پراکنش گیاهان در مقیاس‌ها و مناطق مختلف جهان به آسانی با روش‌های متمرکز بر روابط اقلیم-گونه یا مدل‌های اقلیمی رویشگاه برآورد می‌گردند (۲۷). در عمده مطالعات برای این منظور از متغیرهای زیست‌اقلیمی پایگاه اقلیم جهانی (WorldClim) مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۵۰ و اخیراً نیز پایگاه داده چلسا (CHELSA: Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas) حاصل از میانیابی داده‌های دما و بارش در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۷۹ (CHELSA_v1.0) استفاده شده است که دلیل آن ناکافی بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی، توزیع نامناسب آنها و عدم پایش در فواصل زمانی کوتاه مدت است.

مدل‌های مبتنی بر خصوصیات بوم‌شناختی به صورت الگوریتمی آماری-تحلیلی و بر مبنای تئوری آشیان اکولوژیکی تعریف می‌شوند که با استفاده از مشاهدات میدانی و نقشه‌های محیطی می‌توانند دامنه پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی و منحنی عکس‌العمل آنها نسبت به عوامل محیطی را تعیین کنند (۲). نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی می‌توانند به عنوان یک نقشه مهم بوم‌شناختی، اطلاعات ارزشمندی را در خصوص انتشار گیاهان و شرایط محیطی اطراف نشان دهند و فرضیات اکولوژیکی جدیدی را جهت تحقیقات آینده فراهم سازند (۶). این مدل‌ها، داده‌های پراکنش گونه را به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های محیطی از جمله عوامل اقلیمی را به عنوان متغیرهای مستقل برای برآورد آشیان گونه به صورت الگوریتم به کار می‌برند و سپس آن آشیان‌ها را به شکلی که ترجیحات رویشگاه گونه را به صورت یک احتمال منعکس می‌سازند، طراحی می‌کنند (۱۱ و ۱۵). به‌دلیل اینکه الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی علیرغم استفاده از همان مجموعه مشاهدات میدانی و لایه‌های متغیرهای مستقل، ممکن است به دلیل تفاوت‌هایی در الگوریتم‌ها و فرضیه‌های مدل یا اختلافات در احتیاجات داده‌ای خاص، نتایج متفاوتی را ارائه کنند، از ترکیبی از این مدل‌ها بجای تکیه به خروجی‌های حاصل از یک مدل مجزا استفاده می‌شود (۳۲).

در خصوص استفاده از مدل اجماعی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای تاکنون پژوهش‌های فراوانی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات استولگرن و همکاران (۲۰۱۰)، حیدریان آقاخانی و همکاران (۲۰۱۷)، سریواستاوا و همکاران (۲۰۱۸)، جعفریان همکاران (۲۰۱۹)، امیری و همکاران (۲۰۲۰) و امیری و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود. در مطالعاتی پیرامون پراکنش گونه‌های مختلف جنس Bromus، سنگونی و همکاران (۲۰۱۷) خصوصیات اقلیمی زیست‌بوم و پراکنش جغرافیایی گونه *Bromus tomentellus* در منطقه زاگرس مرکزی را به روش

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

جنگل تصادفی و همچنین طی مطالعه‌ای (۳۱) تغییر محدوده پراکنش آن را با استفاده از مدل اجماعی مورد بررسی قرار دادند. بذرمنش و همکاران (۲۰۱۹) اثر تغییر اقلیم بر آشیان اکولوژیک این گونه در استان اصفهان را با مدل Maxent مطالعه نمودند. تأثیر متغیرهای مستقل زیستی بر مدل‌های پراکنش گونه‌های مهاجم شامل *Bromus diandrus*، *Bromus hordeaceus* و *Bromus tectorum* در جنگل‌های غربی ایالات متحده آمریکا توسط بیر و گری (۲۰۲۲) نیز بررسی شد. اما تاکنون مطالعه‌ای در خصوص مدل‌سازی اجماعی پراکنش و شایستگی رویشگاه گونه جارو علفی کوهسری (*Bromus stenostachyus* Boiss) انجام نشده است. لذا، در این مطالعه از ترکیب مدل-های خطی تعمیم‌یافته، افزایشی تعمیم‌یافته، رگرسیون تطبیقی چند متغیره، جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی، حداکثر آنتروپی و تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی با استفاده از رویکرد اجماعی، جهت تهیه نقشه پراکنش این گونه در استان مازندران استفاده شد. این گونه در مراتع جنوب‌غربی استان پراکنش داشته و به دلیل نقشی که از جهات مختلف مانند تولید علوفه، حفاظت خاک و آبخیزداری داراست، حائز اهمیت خاصی است. لذا شناخت هر چه بیشتر پراکنش آن و عوامل محیطی تأثیرگذار بر پراکنش، ابزاری بهینه جهت بهره‌برداری و مدیریت پایدار خواهد بود.

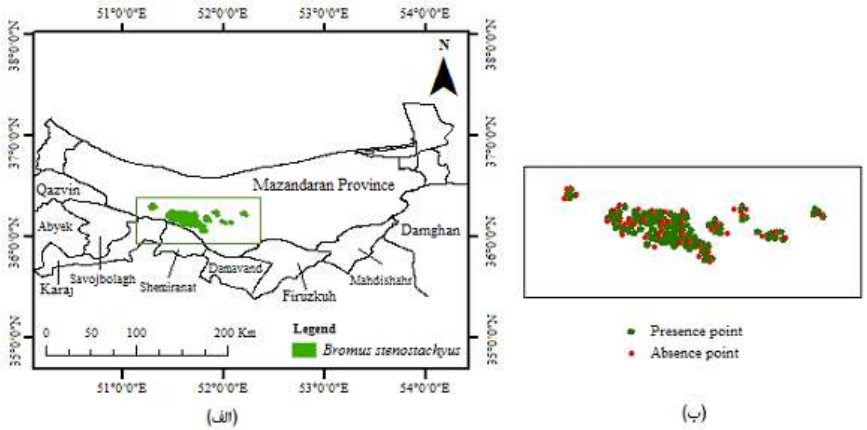
مواد و روش‌ها

منطقه و گونه مورد مطالعه

استان مازندران در شمال ایران و در موقعیت جغرافیایی َ۴۶ ْ۳۵ تا َ۵۸ ْ۳۶ عرض شمالی و َ۲۱ ْ۵۰ تا َ۱۰ ْ۵۴ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این استان با مساحتی حدود ۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع، ۱/۴۶ درصد از مساحت کشور و ارتفاعی از ۲۶- متر تا ۵۶۷۱ متر از سطح دریا را تحت پوشش خود دارد. دامنه تغییرات متوسط دمای سالانه آن ۱۷/۲۵-۳/۵۶ درجه سانتیگراد، بارندگی ۱۵۰۳-۲۰۶ میلی‌متر و رطوبت نسبی نیز ۸۳/۱۷-۶۲/۱۶ درصد است (۱۹). بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، اقلیم نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مرطوب، نواحی شرقی مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی آن نیمه مرطوب است (۹). پوشش گیاهی استان در ارتفاعات کمتر از ۲۰۰۰ متر شامل پوشش گیاهی جنگلی با زیراشکوب علفی و در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا شامل پوشش گیاهی مرتعی (با غالبیت گیاهان بالشتکی، گندمیان پایا و درمنه در مناطق با اقلیم نیمه‌خشک) است. مراتع انبوه که از غرب تا شرق استان و از جلگه ساحلی تا ارتفاعات ۲۵۰۰ متری به صورت نواری دامنه شمالی البرز را فرا گرفته‌اند، سهم مهمی در تنوع زیستی منطقه رویشی هیرکانی دارند (۲۹). گونه مرتعی مورد مطالعه، جارو علفی کوهسری یا جارو علفی سنبله باریک (Bromus stenostachyus Boiss) از خانواده Poaceae است که دارای سیستم ریشه‌ای منشعب و در هم رفته است و تا عمق کمی در خاک رویشگاه خود نفوذ دارد (۱۳). پراکنش این گونه در سطح استان، در قالب تیپ خالص یا به صورت گونه همراه است که محدوده آن در شکل (۱) آمده است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]



شکل ۱: (الف) موقعیت جغرافیایی تیپ مطالعاتی در سطح استان مازندران؛ (ب) پراکنش نقاط حضور و تست

برداشت میدانی

در این مطالعه، نمونه‌برداری داده‌های بیولوژیک به روش تصادفی-طبقه‌بندی شده، در قالب پیکسل‌های یک کیلومترمربعی و بر اساس ساختار فیزیونومی-فلورستیک انجام شد. ابتدا با پیمایش زمینی، مرز پوشش گیاهی از روی نقشه پوشش گیاهی استان کنترل شد، به عبارتی مبنای انتخاب سایت‌ها نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ پوشش گیاهی استان بود. به‌منظور نمونه‌برداری مکان‌های حضور، منطقه مطالعاتی از تلفیق نقشه‌های شیب، جهت و مدل رقومی ارتفاع و اضافه نمودن نقشه تیپ گیاهی به تعدادی طبقه یا واحد همگن نمونه‌برداری تقسیم شد. سپس، طی بازدیدهای میدانی مختصات هر یک از مناطق همگن که پراکنش جغرافیایی گونه در آنها به لحاظ فیزیونومی تا حدودی قابل توجه بوده و طبقات مختلف سنی گیاه وجود داشتند، به صورت تصادفی به عنوان نقطه رخداد گونه ثبت شدند. با حذف نقاط اضافی در هر سلول شبکه سعی شد از خودهمبستگی مکانی و ایجاد اُریبی پراکنش نقاط رخداد در فضای جغرافیایی جلوگیری شود. به منظور ثبت نقاط عدم حضور نیز پس از اجرای یک مدل اولیه حداکثر آنتروپی که تنها بر اساس داده‌های حضور انجام می‌گیرد، مناطق با احتمال رخداد کم به عنوان نقاط عدم حضور در نظر گرفته شدند، به عبارتی از روش شبه غیاب (Pseudo-absence) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در نهایت، تعداد ۱۲۲ نقطه حضور و به همین تعداد نقطه غیاب برای گونه در فصل رویش سال ۱۴۰۰ در سطح منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. از آنجاییکه استقلال مجموعه داده‌های تعلیمی و تست بسیار مهم و حیاتی است، جهت ارزیابی فرآیند مدل‌سازی، داده‌های اصلی به دو قسمت، داده‌های تعلیمی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی، و داده‌های تست برای اعتبارسنجی مدل تقسیم شدند. ساخت و کالیبره کردن مدل‌ها با انتخاب تصادفی ۷۵ درصد از داده‌های رخداد و ارزیابی و صحت-سنجی آنها نیز با ۲۵ درصد باقیمانده داده‌ها صورت گرفت (۳).

آماده‌سازی و انتخاب متغیرهای مستقل مدل

تعداد، مقیاس و قدرت تفکیک متغیرهای شرکت کننده بر کارایی مدل‌ها تأثیر می‌گذارند. همچنین، برخی متغیرهای محیطی نسبت به بقیه در مدل‌سازی آشیان‌های اکولوژیک حاوی اطلاعات بیشتری هستند. در این مطالعه، داده‌های حضور و غیاب گونه به عنوان متغیر وابسته و داده‌های ۲۵ عامل محیطی شامل ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی مستخرج از پایگاه داده چلسا (https://chelsa-climate.org)، متغیرهای فیزیوگرافی شیب، جهت شیب و ارتفاع مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۹۰ متر (http://srtm.csi.cgiar.org)، و فاصله تا خطوط آبی، همچنین دو متغیر انسانی شامل فاصله تا روستا و فاصله تا جاده به عنوان متغیرهای مستقل لحاظ شدند. هدف از

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

لحاظ نمودن متغیر فاصله تا خطوط آبی، بررسی تأثیر رطوبت و فاصله تا جاده و روستا بررسی تأثیر عوامل انسانی بر پراکنش است. این متغیرهای فاصله‌ای با استفاده از مختصات طول و عرض جغرافیایی و مدل رقومی ارتفاع با ابزار فاصله اقلیدسی به نقشه‌های رستری یک کیلومتری تبدیل شدند.

طبق قاعده صرفه‌جویی و به منظور مدیریت داده‌ها، ماتریس ضریب همبستگی پیرسون لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای اقلیمی با استفاده از دستور corlocal در نرم‌افزار آماری- برنامه‌نویسی R 4.0.3 استخراج گردید. این دستور، همبستگی مکانی بین هر جفت تصویر رستری را بر اساس نقطه مرکزی و ایجاد بافر محاسبه می‌کند. به دلیل اینکه همبستگی داخلی میان متغیرهای محیطی به کار رفته در مدل منجر به هم‌خطی بودن، برازش بیش از حد مدل و بروز مشکلاتی در تفسیر نتایج می‌شود، در صورتی‌که ضریب همبستگی میان دو متغیر بزرگتر از ۰/۸ و کوچکتر از ۰/۸- بود (۰/۸< |r|۰)، با توجه به درجه اهمیت اکولوژیکی متغیرها فقط یکی از آنها در فرآیند مدل‌سازی به کار رفت (۴ و ۳۸). بنابراین، بر اساس نتایج آنالیز همبستگی و در نظر گرفتن اهمیت متغیر از دیدگاه بوم‌شناختی، متغیرهای ارتفاع، ایزوترمالیتی (Bio3)، تغییرات فصلی دما (Bio4)، حداکثر دمای گرمترین ماه (Bio5)، دامنه تغییرات سالانه دما (Bio7)، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (Bio8)، میانگین دمای سردترین فصل (Bio11)، بارندگی پربارش‌ترین ماه (Bio13) و فاصله تا روستا جهت برازش مدل انتخاب و قبل از وارد شدن به مدل به لحاظ سیستم تصویر، قدرت تفکیک و تعداد پیکسل‌های سطر و ستون همسان‌سازی شدند.

برازش مدل‌های مجزا و اجماعی

به‌منظور مدل‌سازی، هفت مدل همبسته که تجانس بیشتری با هم داشته و در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای تاکنون کاربرد وسیعی داشتند، جهت بررسی پراکنش گونه در این مطالعه به کار رفتند. این مدل‌ها شامل دو تکنیک رگرسیونی (مدل خطی تعمیم‌یافته؛ GLM، رگرسیون تطبیقی چند متغیره؛ MARS)، چهار تکنیک یادگیری ماشینی (شبکه عصبی مصنوعی؛ ANN، مدل افزایشی تعمیم‌یافته؛ GBM، جنگل تصادفی؛ RF، حداکثر آنتروپی؛ Maxent) و یک تکنیک طبقه‌بندی (تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی؛ CTA) هستند. جهت افزایش دقت و کارایی، مدل‌ها در پکیج Biomod2 نرم‌افزار R به تعداد ۱۰ تکرار اجرا شدند. این پکیج همچنین روشی برای اجماع یا ترکیب مدل‌هاست که قادر به برازش و مقایسه مدل‌های مختلف است. رویکرد اجماع صحت پیش‌بینی را به حداکثر رسانده و پراکنش گونه‌ها را با قابلیت اعتماد بالاتری پیش‌بینی می‌کند، زیرا بر این فرض استوار است که عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های مجزا می‌تواند با بررسی هم‌زمان نتایج چندین مدل کاهش یابد (۲۱ و ۳۳). از دیگر پکیج‌های مورد استفاده در این مطالعه maptools، sp، rgdal، raster و dismo هستند. پس از اجرای مدل‌ها، به منظور ارائه نقشه نهایی حضور گونه، از تکنیک اجماع بین مدل‌های به کار رفته استفاده شد. نقشه اجماع یافته با محاسبه میانگین وزنی نقشه‌های رویشگاه حاصل از مدل‌های مجزا بر اساس مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) با استفاده از روابط (۱) و (۲) به‌دست آمد.

رابطه (۱):

$$c(x) = \sum_{i=1}^{5} W_i . g_i(x)$$

رابطه (۲):

$$W_i = \frac{AUC_{(i)}}{\sum_{i=1}^{10} AUC_{(i)}}$$

که W_i وزن تعیین شده برای یک مدل تکراری (i)؛ $g_i(x)$ مدل مجزای وزنی؛ و $c(x)$ مدل اجماعی وزن‌بندی شده نهایی است. بر این اساس، عدد صفر در نقشه اجماعی یعنی هیچ‌یک از تکنیک‌های مدل‌سازی آن سطح را به عنوان رویشگاه مناسب تعیین نمی‌کنند، اما عدد یک یعنی تمامی تکنیک‌های مدل‌سازی آن سطح را رویشگاه مناسب و شایسته در نظر می‌گیرند (۴).

ارزیابی مدل‌سازی

برای ارزیابی مدل‌های پراکنش گونه‌ای با استفاده از معیارهای ارزیابی مستقل از آستانه و وابسته به آستانه، آماره‌های استخراج شده از ماتریس خطا به کار رفتند. تحلیل منحنی ویژه عامل دریافت کننده (ROC) که صحت حضور پیش‌بینی شده یا حساسیت (Sensitivity) را در مقابل صحت غیاب پیش‌بینی شده یا یک منهای ویژه‌انگاری

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

(Specificity) قرار می‌دهد، برای ارزیابی به کار رفت. سطح زیر این منحنی یک شاخص کمّی متداول جهت نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مدل و یک معیار مستقل از آستانه پرکاربرد جهت ارزیابی مدل‌های پراکنش برازش داده شده است (۱۰). دامنه مقادیر سطح زیر منحنی از ۰/۵ (پیش‌بینی تصادفی) تا حداکثر ۱ (پیش‌بینی کاملاً صحیح و بدون حذف هیچ یک از نقاط حضور) است. طبق یک طبقه‌بندی معمول (۳۴)، مقادیر AUC برابر ۰/۵ یعنی پیش‌بینی مدل با پیش‌بینی بر اساس نقاط تصادفی اختلافی ندارد. مقدار AUC از ۰/۵ تا ۰/۷ حاکی از یک مدل متوسط، ۰/۷ تا ۰/۹ یک مدل خوب، و بیش از ۰/۹ حاکی از عملکرد عالی مدل است. سطح زیر منحنی در اندازه‌گیری اینکه چگونه موقعیت‌های حضور می‌توانند بر اساس متغیرهای مستقل از داده‌های غیاب تشخیص داده شوند، ابزار مفیدی است، اما در مورد اینکه چگونه پیش‌بینی‌های مدل، پراکنش گونه را برازش می‌دهند، اطلاعات کمی فراهم می‌کند (۲۰).

علاوه بر AUC، با انتخاب آستانه‌ای که تعداد مشاهدات منفی کاذب را با تعداد مثبت‌های کاذب برابر می‌سازد، احتمال وقوع به پیش‌بینی‌های دوتایی حضور عدم حضور تبدیل شد. سپس، با استفاده از این پیش‌بینی‌های جفتی و عناصر ماتریس خطا، شاخص‌های وابسته به آستانه شامل ویژه‌انگاری، حساسیت و TSS بررسی شدند:

رابطه (۳):

$$\text{Specificity} = \frac{\text{TN}}{\text{TN+FN}}$$

رابطه (۴):

$$\text{Specificity} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FP}}$$

شاخص ویژه‌انگاری حاکی از قدرت مدل در تشخیص مناطقی است که گونه در آنجا حضور نداشته است و درصد غیاب‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند را اندازه می‌گیرد. در مقابل، شاخص حساسیت قدرت مدل در تشخیص مناطقی است که گونه در آنجا دیده می‌شود، به عبارتی درصد حضورهای به درستی طبقه‌بندی شده را اندازه می‌گیرد.

رابطه (۵):

$$\text{TSS} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FN}} - \frac{\text{FP}}{\text{FP+TN}} = (\text{Sensitivity} + \text{Specificity}) - 1$$

در روابط فوق، TP مقادیر مثبت حقیقی، FP مقادیر مثبت کاذب و FN مقادیر منفی کاذب می‌باشند. مقادیر FP و FN به عنوان خطای مدل ثبت می‌شوند و TN نیز مقادیر منفی واقعی را نشان می‌دهد (۳۶). شاخص TSS، خطاهای کمیسیون و اُمیسیون را در نظر می‌گیرد و از ۱- تا ۱+ متغیر است، که ۱+ به معنی توافق کامل است. مقادیر صفر و منفی این شاخص نشانه عملکرد پایین مدل و کارایی هستند که از حالت تصادفی بهتر نیستند (۲۸). جهت بررسی اختلاف معنی‌دار بین مدل‌ها به لحاظ کارایی، آنالیز واریانس و آزمون تعقیبی توکی بر روی مقادیر AUC حاصل از تکرارهای مدل‌ها اعمال شد. چنانچه در آنالیز واریانس، فرض صفر رد شود، مقدار بحرانی تمام مقایسات جفت میانگین‌ها با این آزمون بررسی می‌شود.

آنالیز حساسیت

جهت شناسایی و اولویت‌بندی متغیرهای کنترل‌کننده پراکنش، رویکرد OAT برای تعیین حساسیت خروجی به تغییر ورودی‌ها و دانستن نقش ورودی‌های مؤثر بر مدل‌سازی پراکنش به کار رفت. این رویکرد، حساسیت متغیر را با حذف هر متغیر ورودی در یک زمان و محاسبه واریانس خروجی مدل با و بدون در نظر گرفتن متغیرها محاسبه می‌کند. آنالیز حساسیت در این مطالعه به تعداد متغیرهای مستقل که هر متغیر ورودی را در یک زمان حذف و پتانسیل پراکنش را با مابقی متغیرها محاسبه می‌کند، انجام شد. میزان کاهش صحت مدل پس از حذف هر متغیر مستقل از آنالیز، اهمیت آن متغیر را نشان می‌دهد؛ یعنی هر بار یک پارامتر از آنالیز حذف گردید. سپس، نتایج با زمانیکه متغیر در نظر گرفته شده بود، مقایسه شدند (۲۴).

بررسی عکس‌العمل گونه نسبت به متغیرهای محیطی

پس از ارزیابی مدل‌ها، منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی بر اساس مدل با بیشترین کارایی ترسیم و مقدار بهینه و دامنه بردباری اکولوژیک آن تعیین گردید. بر روی این منحنی‌ها، فاصله

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

بین دو حد بالایی و پایینی از شرایط بوم‌شناختی یا محیطی، دامنه یا میدان بوم‌شناختی گونه نام دارد. بین این دو مرز، حد مطلوب یا بهینه‌ای وجود دارد که گونه در آن دارای بهترین عملکرد است، یعنی بخشی از گرادیان که در آن گونه دارای بیشترین احتمال وقوع یا فراوانی (مقدار مُد مربوط به منحنی) بر اساس مدل است. دامنه بوم‌شناختی در تابع پاسخ گاوسی از "اپتیمم±بردباری" محاسبه می‌شود (۱۲).

نتایج

مقایسه کارایی مدل‌های مختلف در پراکنش گونه‌ای

برای گونه مورد مطالعه، تمامی مدل‌ها دارای عملکرد عالی گزارش شدند (جدول ۱). طبق نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون مقایسه میانگین توکی، تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی با همه مدل‌ها اختلاف معنی‌دار داشت. مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، رگرسیون تطبیقی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی، فقط با تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی و مدل اجماعی اختلاف معنی‌دار داشتند. مدل اجماعی با همه مدل‌ها به استثنای مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته و جنگل تصادفی دارای اختلاف معنی‌دار بود. بین این دو مدل فقط با مدل‌های تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی درختی و حداکثر آنتروپی اختلاف معنی‌دار ($p<0/01$) گزارش شد.

همچنین، معیارهای صحت‌سنجی در پیش‌بینی اجماعی، نسبت به تمام الگوریتم‌های مجزای مدل‌سازی میانگین بیشتری را به خود اختصاص دادند (جدول ۱).

جدول ۱: میانگین مقادیر معیارهای صحت‌سنجی مدل‌ها در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه

	GLM	GBM	MARS	RF	ANN	Maxent	CTA	مدل اجماعی
AUC	۰/۹۷^{bc}	۰/۹۸^{ab}	۰/۹۷^{bc}	۰/۹۸^{ab}	۰/۹۷^{bc}	۰/۹۶^{c}	۰/۹۳^{d}	۰/۹۹^{a}
Specificity	۹۷/۸۴	۹۹/۰۲	۹۹/۱۲	۹۸/۸۷	۹۷/۲۳	۹۷/۳۳	۹۸/۸۷	۹۹/۷۴
Sensitivity	۱۰۰	۹۹/۶۶	۹۹/۶۶	۱۰۰	۹۹/۶۶	۹۹/۳۳	۹۶/۳۳	۱۰۰
TSS	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۹

* در تغییرات AUC در مدل‌های پراکنش گونه، حروف مشابه عدم وجود اختلاف معنی‌دار را نشان می دهند.

اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در پیش‌بینی مناطق مناسب برای حضور گونه

سهم نسبی متغیرهای شرکت‌کننده در فرآیند مدل‌سازی در جدول ۲ آمده است. طبق جدول، حداکثر دمای گرمترین ماه (Bio5) و سپس دامنه تغییرات سالانه درجه حرارت (Bio7) از متغیرهای مهم تأثیرگذار بر پتانسیل رویشگاه گونه می‌باشند که با هم نیمی از تغییرات را توجیه می‌کنند.

جدول ۲: اهمیت نسبی (درصد مشارکت) متغیرهای محیطی در مدل‌های پراکنش مکانی گونه

متغیر محیطی	GLM	GBM	MARS	RF	ANN	Maxent	CTA	میانگین سهم نسبی در مدل‌ها
ارتفاع	۱/۹۴	۰	۰/۸۶	۱/۸۴	۱۷/۴۷	۹/۰۸	۰	۴/۴۶
میانگین دمای سردترین فصل (Bio11)	۳/۱۰	۰	۰/۹۶	۰/۴۶	۶/۰۸	۲/۲۳	۰	۱/۸۳
بارندگی پربارش‌ترین ماه (Bio13)	۱۲/۹۲	۱۸/۱۸	۱۱/۱۱	۲۵/۰۶	۸/۶۱	۱۰/۸۳	۱۸/۰۳	۱۴/۹۶
شاخص ایزوترمالیتی (Bio3)	۱۳/۷۱	۲/۱۸	۱۶/۶۱	۲۳/۹۰	۷/۰۵	۲۷/۸۸	۰	۱۳/۰۵
تغییرات فصلی دما (Bio4)	۱۶/۴۴	۰/۱۶	۲۷/۱۹	۱/۵۰	۱۴/۸۸	۱۸/۲۳	۰	۱۱/۲۰
حداکثر دمای گرمترین ماه (Bio5)	۲۳/۰۶	۵۷/۰۹	۲۸/۶۷	۴/۳۸	۲۳/۸۳	۸/۱۸	۵۶/۲۳	۲۸/۷۸
دامنه تغییرات سالانه دما (Bio7)	۱۷	۲۲/۳۷	۱۳/۴۰	۴۰/۹۴	۱۷/۲۶	۱۳/۸۴	۲۵/۷۴	۲۱/۵۱
میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (Bio8)	۱/۹۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۱/۸۱	۴/۷۶	۶/۴۲	۰	۲/۱۴
فاصله تا روستا	۹/۸۵	۰	۱/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۶	۳/۳۲	۰	۲/۰۷

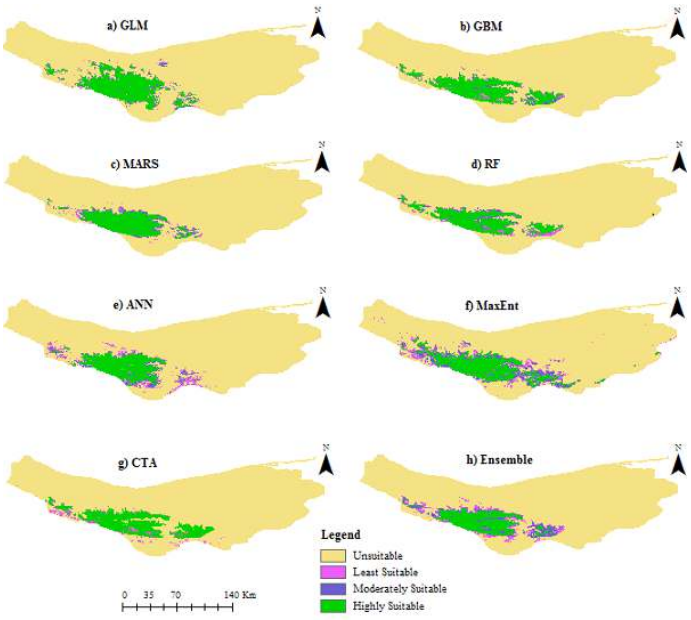
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

شایستگی نسبی رویشگاه گونه

با جمع‌بندی و ترکیب نتایج حاصل از تمامی مدل‌ها، نقشه پراکنش مکانی بالقوه گونه ایجاد شد (شکل ۲). نقشه‌های حاصل دارای مقادیر پیوسته‌ای از صفر تا یک هستند که هر چه ارزش یک پیکسل بیشتر باشد یعنی آن پیکسل رویشگاه مناسب‌تری برای گونه است. جهت درک بهتر تأثیر عوامل محیطی بر پراکنش و سهولت در تفسیر نتایج، مقادیر شایستگی رویشگاه به چهار طبقه رویشگاه بالقوه، به اختصار با پتانسیل بالا (>۰/۷۵)، پتانسیل متوسط (۰/۷۵-۰/۵)، پتانسیل کم (۰/۵-۰/۲۵)، و فاقد پتانسیل (<۰/۲۵) طبقه‌بندی شدند. اما به دلیل اینکه پیش‌بینی هر مدل، بستگی به توابع ریاضی متفاوتی دارد، مدل‌های پراکنش گونه‌ای نتایج متنوعی خواهند داشت. در مجموع، رویشگاه‌های مطلوب گونه در بخش‌هایی از استان پراکنده شده که میزان ارتفاع در آنها از میانگین ارتفاع در کل استان بیشتر اما میزان بارندگی و درجه حرارت آن در مقایسه با متوسط بارندگی و درجه حرارت استان کمتر است.

مساحت مربوط به طبقات شایستگی رویشگاه گونه توسط مدل‌های مجزا و اجماعی در جدول (۳) خلاصه شده‌اند. طبقه فاقد پتانسیل، از دامنه ۵۸/۷۷ تا ۸۸/۴۷ درصد منطقه مطالعاتی بین رویکردهای مدل‌سازی، حداکثر تغییرپذیری را داشت. بنابراین، همانگونه که در نقشه‌های مکانی مربوطه به تصویر کشیده شده است (شکل ۲)، تقریباً سه چهارم از منطقه مطالعاتی فاقد پتانسیل برای رویشگاه گونه است. علیرغم اختلافاتی در تعیین طبقات شایستگی بین مدل‌های مختلف (شکل ۲)، تغییرپذیری سایر طبقات تقریباً مشابه هم بود. در تمامی مدل‌ها، مساحت مربوط به طبقات فاقد پتانسیل، پتانسیل بالا، پتانسیل کم و پتانسیل متوسط به ترتیب بیشترین میزان مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. همه مدل‌ها، طبقات شایستگی کم و متوسط را در کمتر از ۵ درصد منطقه مورد مطالعه نشان دادند. در مقابل، مدل اجماعی، MARS، ANN و RF، مقدار ۲۰/۱۳-۸/۹ درصد را برای طبقه با پتانسیل بالا پیش‌بینی کردند، در حالیکه سایر مدل‌ها، مقدار بیش از ۲۰ درصد را برای این طبقه پیش‌بینی کردند (جدول ۲).



شکل ۲: پراکنش شایستگی رویشگاه گونه بر اساس داده‌های رخداد

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

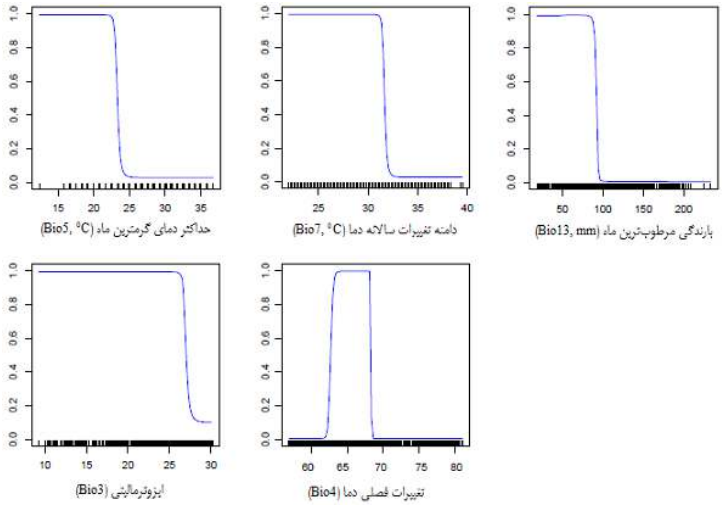
جدول ۳: درصد و مساحت (بر حسب کیلومترمربع) طبقات شایستگی رویشگاه برآورد شده توسط مدل‌های مجزا و مدل اجماعی

طبقه شایستگی	فاقد پتانسیل		پتانسیل کم		پتانسیل متوسط		پتانسیل بالا	
	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت
GLM	۵۸/۷۷	۲۰۳۷۵/۹۹	۱/۳۵	۳۲۲/۱۴	۱/۲۶	۲۹۸/۹۵	۱۱/۶۲	۲۷۵۹/۳۲
GBM	۸۷/۶۵	۲۰۸۲۲/۸۲	۱/۰۲	۲۴۱/۴	۰/۹۸	۲۳۱/۸۱	۱۰/۳۵	۲۴۶۰/۳۷
MARS	۸۸/۴۷	۲۱۰۱۶/۲۶	۱/۳۳	۳۱۷/۳۴	۱/۲۵	۲۹۶/۵۵	۸/۹۵	۲۱۲۶/۲۵
RF	۸۸/۱۴	۲۰۹۳۹/۵۳	۱/۷۷	۴۲۰/۴۵	۰/۹۶	۲۲۸/۶۱	۹/۱۳	۲۱۶۷/۸۱
ANN	۸۶/۱۷	۲۰۴۷۱/۱۱	۳/۰۱	۷۱۶/۲۱	۱/۷	۴۰۲/۰۷	۹/۱۲	۲۱۶۷/۰۱
Maxent	۸۱/۶۸	۱۹۴۰۴/۷۹	۴/۱۱	۹۷۶	۳/۴۸	۸۲۷/۳۱	۱۰/۷۳	۲۵۴۸/۳
CTA	۸۷/۵	۲۰۷۸۶/۸۵	۱/۵۴	۳۶۶/۱	۰/۰۲	۵/۵۹	۱۰/۹۴	۲۵۹۷/۸۶
مدل اجماعی	۸۵/۸۹	۲۰۴۰۳/۹۷	۳/۱۵	۷۴۷/۳۸	۲/۷۶	۶۵۵/۴۵	۸/۲۰	۱۹۴۹/۶

منحنی‌های عکس‌العمل گونه به مهم‌ترین متغیرهای محیطی

منحنی‌های عکس‌العمل گونه به متغیرهای محیطی مؤثر بر رخداد بر اساس مدل افزایشی تعمیم‌یافته در شکل ۳ ارائه شده‌اند. با توجه به شکل، چنانچه اوج درجه حرارت در گرمترین ماه سال (Bio5) از ۲۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر شود، احتمال حضور گونه از حداکثر به حداقل می‌رسد. در مناطقی که تغییرات سالانه دما (Bio7) دامنه‌ای کمتر از ۳۲ درجه سانتیگراد داشته باشد، حداکثر احتمال رخداد گونه اتفاق خواهد افتاد و پس از آن گونه دیده نمی‌شود. در مرطوب‌ترین ماه (Bio13) زمانی‌که بارندگی از ۱۰۰ میلیمتر کمتر باشد، گونه بیشترین احتمال رخداد را دارد و در بارندگی بیش از آن حضور گونه به سرعت کاهش یافته و به صفر می‌رسد. وقتی ایزوترمالیتی (Bio3) از ۲۶ فراتر رود، احتمال حضور کاهش یافته و ثابت می‌شود. در محدوده ۶۸-۶۳ برای تغییرات فصلی دما (Bio4)، گونه حداکثر حضور را دارد و خارج از این محدوده گونه حضور ندارد.

آمار توصیفی مهم‌ترین متغیرهای محیطی مشارکت کننده در مدل‌سازی پس از آنالیز همبستگی در جدول (۴) آمده است.



شکل ۳: منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به مهم‌ترین متغیرها در پراکنش؛ در این منحنی‌ها محور عمودی احتمال رخداد گونه یا مقدار پیش‌بینی شده شایستگی رویشگاه و محور افقی نیز مقدار متغیر محیطی مربوطه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

جدول ۴: دامنه بردباری اکولوژیک و مقدار بهینه متغیرهای محیطی بر اساس داده‌های رخداد گونه

متغیر محیطی	حداقل	حداکثر	میانگین±انحراف معیار
ارتفاع (m)	۱۸۲۸	۳۷۵۲	۸۹۰±۲۸۴۲/۲۶
میانگین دمای سردترین فصل (Bio11)	-۰/۹۷	۳/۷۹	۵/۵±۸/۲۶
بارندگی پربارش‌ترین ماه (Bio13)	۵۸/۳۳	۹۹/۶۶	۷۵/۳۰±۸/۲۷
شاخص ایزوترمالیتی (Bio3)	۱۷/۷۳	۲۷	۲۰/۲±۱/۷۱
تغییرات فصلی دما (Bio4)	۶۴/۶۱	۶۷/۹۸	۶۴/۲±۵۳/۵۹
حداکثر دمای گرمترین ماه (Bio5)	۱۶/۶	۲۵/۸۵	۲۷/۴±۱۵/۲۳
دامنه تغییرات سالانه دما (Bio7)	۲۳/۶۶	۳۱/۸۳	۲۹/۲±۱۵/۳۹
میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (Bio8)	-۱/۱۱	۹/۷۵	۱۲/۶±۵۶/۹۴
فاصله تا روستا (km)	۰	۰/۰۷۶	۰/۰±۰۲۲/۰۱

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات کمی پیرامون مقایسه رویکردهای مختلف مدل‌سازی و مشخص کردن توانایی هر رویکرد برای پیش‌بینی در مقایسه با سایر روش‌ها به منظور انتخاب بهترین روش مدل‌سازی صورت گرفته است. مقایسه الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه و زمان، شالوده‌ای قوی جهت اتخاذ تصمیمات صحیح مدیریتی ایجاد می‌کنند. در مطالعه حاضر از شش مدل متمایز کننده گروهی و یک مدل پروفیل و متغیرهای مستقل اقلیمی، فیزیوگرافی و انسانی استفاده شد. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت، به طور میانگین، حداکثر دمای گرمترین ماه سال و دامنه تغییرات سالانه دما از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر شایستگی رویشگاه گونه و پراکنش آن مشخص شدند. در مورد تأثیر متغیرهای مربوط به درجه حرارت می‌توان گفت که با توجه به اینکه این گونه در مناطق مرتفع و کوهستانی رویش دارد به دلیل کاهش درجه حرارت در ارتفاعات، درجه حرارت تأثیر بسزایی بر فنولوژی گونه و پراکنش آن دارد. لازم به ذکر است، ارتباطی که بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و حضور و غیاب گونه برقرار شد، صرفاً بر اساس مشاهدات تجربی بوده و نمی‌توان این متغیرها را به عنوان علت تفسیر کرد. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس شاخص‌های مستقل از آستانه و وابسته به آستانه بیانگر این بود که در مجموع مدل‌های برازش داده شده برای گونه مورد بررسی کارایی خوبی نشان دادند. مدل اجماعی در مقایسه با مدل‌های مجزا حداکثر کارایی را نشان داد. دلیل استفاده از مدل اجماعی در مطالعه حاضر، اعتباربخشی به نتایج و کاهش اُریبی و عدم قطعیت‌های مدل‌های مجزا بود، زیرا هر مدل علیرغم توانایی و نقاط قوتی که دارد، دارای یک سری نقاط ضعف نیز هست. البته چنانچه در مطالعه اراهو و نیو (۲۰۰۷) نیز مشخص شده بود، کارایی روش اجماع زمانی حداکثر است که تمامی مدل‌های به کار رفته در آن از دقت و صحت بالایی برخوردار باشند، چون در غیر این صورت ضعف یک مدل سبب پایین آمدن کارایی سایر مدل‌ها می‌شود. ماسوچا و دیوب (۲۰۱۸) نیز اذعان داشتند که مدل‌های ترکیبی برای آنالیز خطر هجوم نسبت به مدل‌های تطبیقی گونه- محیط مجزا قدرتمندتر می‌باشند. افزایش کارایی مدل‌های مورد بررسی توسط مدل اجماع یافته در مطالعات امیری و همکاران (۲۰۲۰) و امیری و همکاران (۲۰۲۲) نیز تأیید شد. از میان مدل‌های مجزا نیز مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته و جنگل تصادفی بیشترین میانگین معیارهای صحت‌سنجی را به خود اختصاص دادند، به‌طوریکه به لحاظ شاخص سطح زیر منحنی با مدل اجماعی فاقد اختلاف معنی‌دار بودند. حیدریان آقاخانی و همکاران (۲۰۱۷) و تیموری اصل و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان نمودند که مدل‌های جنگل تصادفی و افزایشی تعمیم‌یافته روش‌هایی کارآمد جهت مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی هستند. مدل افزایشی تعمیم‌یافته که اخیراً به اکولوژی وارد شد، در برازش داده‌ها بسیار کارآمد است و نقاط قوت روش‌های پیشرفته آماری را با هم ترکیب می‌کند (۲۶). جعفریان و همکاران (۲۰۱۹) و امیری و همکاران (۲۰۲۰) در مقایسه تکنیک‌های مختلف مدل‌سازی جهت بررسی پراکنش گونه‌های مرتعی به این

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

نتیجه رسیدند که جنگل تصادفی عملکردی نزدیک به میانگین خروجی‌های چندین روش مدل‌سازی داشت. نقی‌پور برج و همکاران (۲۰۱۹) نیز در ارزیابی توان الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی جهت پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش لاله واژگون، دریافتند که جنگل تصادفی نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشت که با یافته‌های ما مطابقت دارد. با توجه به منحنی‌های عکس‌العمل گونه، علت کاهش رخداد گونه در بارش‌های بیشتر را می‌توان به کاهش توان رقابتی گونه مذکور نسبت به سایر گونه‌های گیاهی نسبت داد که البته به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. البته بخش‌های مختلف منحنی عکس‌العمل می‌توانند به واسطه تغییر شرایط محیطی یا سازگار شدن گونه با شرایط جدید تغییر یابند. بر روی نقشه‌های پراکنش حاصل از الگوریتم‌های مدل‌سازی، رویشگاه‌های دارای حداکثر شایستگی در بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی استان پراکنده شده‌اند. در این رویشگاه‌ها میانگین بارندگی و درجه حرارت به‌ترتیب ۵۸۸ میلیمتر و ۴/۸ درجه سانتیگراد است. محدوده ارتفاعی حضور گونه در رویشگاه همانگونه که در جدول ۴ ذکر شد، ۳۷۵۲-۱۸۲۸ متر است. قلیچ‌نیا و شاهمرادی (۲۰۰۳) در مطالعه آت‌اکولوژی این گونه رویشگاه‌های آن را مناطق مرکزی البرز در استان مازندران در ارتفاعات ۴۰۰۰-۱۵۰۰ متر از سطح دریا عنوان نمودند که در اغلب رویشگاه‌ها به صورت گونه غالب اول، دوم و یا سوم در تیپ گیاهی مشاهده می‌شود، ولی در ارتفاعات ۴۰۰۰-۳۰۰۰ متری به صورت پراکنده و لکه‌ای رویش دارد. طی برداشت میدانی مشخص شد که این گونه در تیپ‌های مرتعی *Onobrychis cornuta- Bromus stenostachyus*، *Bromus stenostachyus-Astragalus gossypinus*، *Artemisia fragrans-Bromus stenostachyus* و *Bromus stenostachyus-Onobrychis cornuta* حضور دارد و گونه‌های همراه در رویشگاه‌های آن *Festuca ovina*، *Nepeta crassifolia*، *Thymus pubescens*، *Verbascum thapsus*، *Stachys turcomanica* و *Agropyron pectinifrome* هستند. در رویشگاه‌های این گونه مرتعی، گونه‌های بالشتکی *Onobrychis cornuta* و *Astragalus gossypinus* علاوه بر حفاظت خاک و کمک به ذخیره نزولات آسمانی سبب تثبیت ازت می‌شوند.

نتایج مطالعه حاضر را می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های کاربردی جهت حفظ و مدیریت مراتع هیرکانی و نیز پیشنهاد گونه مناسب جهت اصلاح، احیا و بازسازی آنها در مناطق با شرایط اکولوژیک مشابه استفاده نمود. در واقع، با استفاده از نتایج بدست آمده می‌توان امکانات و محدودیت-های محیطی مرتبط با گسترش و پراکنش این گونه را تعیین نمود و از این طریق به استفاده صحیح و متناسب با توان و استعداد منطقه کمک کرد. چنانچه قرار است نتایج مدل اجماعی برای خط‌مشی‌های مدیریتی و اولویت‌بندی‌های حفاظتی به کار روند، پیشنهاد می‌شود علاوه بر توجه به قدرت تفکیک، به کمک داده‌های مستقل زمانی، مدل را ارزیابی کرد. لحاظ نمودن سایر عوامل زیست‌محیطی از قبیل ویژگی‌های خاک، کنش‌های متقابل، جهش‌های ژنتیکی، چرای دام، کاربری اراضی و در نتیجه تعیین دقیق‌تر رویشگاه بالفعل گونه نیز توصیه می‌گردد.

References

1. Abbasi, M., H. Bagheri, A. Abasi & M.A. Zare Chahouki, 2021. *Astragalus gossypinus* habitat suitability assessment with ENFA model in middle Taleghan Rangelands. Journal of Rangeland, 15(3): 434-447. (In Persian)
2. Amiri, M., M. Tarkesh Esfahani & R. Jafari, 2019. Predicting the Climatic Ecological Niche of *Artemisia aucheri* Boiss in Central Iran using Species Distribution Modeling. Journal of Applied Ecology, 8(2): 61-79. (In Persian)
3. Amiri, M., M. Tarkesh, R. Jafari & G. Jetschke, 2020. Bioclimatic variables from precipitation and temperature records vs. remote sensing-based bioclimatic variables: Which side can perform better in species distribution modeling? Ecological Informatics, 57: 101060.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

4. Amiri, M., M. Tarkesh & M. Shafiezadeh, 2022. Modelling the biological invasion of *Prosopis juliflora* using geostatistical-based bioclimatic variables under climate change in arid zones of southwest Iran. Journal of Arid Land, 14: 203-224.
5. Araújo, M.B. & M. New, 2007. Ensemble forecasting of species distributions. Trends in Ecological Evolution, 22(1): 42-46.
6. Azizi Kalesar M, M. Moameri, A. Ghorbani, L. Khalasi Ahvazi, M. Fathi & S. Samadi, 2021. Habitat assessment for *Vaccinium arctostaphylos* L. by logistic regression method in the rangelands of Namin-Ardabil. Journal of Rangeland, 15(3): 522-533. (In Persian)
7. Bazrmanesh, A., M. Tarkesh, H. Bashari & S. Poormanafi, 2019. Effect of climate change on the Ecological Niches of the climate of *Bromus tomentellus* Boiss using Maxent in Isfahan province. Journal of Range and Watershed Management, 71: 857-867. (In Persian)
8. Bear, K.C. & A.N. Gray, 2022. Biotic predictors improve species distribution models for invasive plants in Western U.S. Forests at high but not low spatial resolutions. Forest Ecology and Management, 518: 120249.
9. Davoodi, M., N. Bay & O. Ebrahimi, 2014. Climatic classification of Mazandaran province according to Litinsky method. Geographical Data (Sepehr), 22(88): 100-105. (In Persian)
10. Elith, J., C.H. Graham & R.P. Anderson, 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. Ecoghraphy, 135: 213-222.
11. Elith, J. & J.R. Leathwick, 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 40: 667-697.
12. Gegout, J.C. & E. Krizova, 2003. Comparison of indicator values of forest understory plant species in Western Carpathians (Slovakia) and Vosges Mountains (France). Forest Ecology and Management, 182(1): 1-11.
13. Gelichnia, H. & A. Shahmoradi, 2003. Autecology two plant species of *Bromus cappadocicus* and *Bromus stenostachyus* in Mazandaran. Journal of Rangeland and Desert Management, 10(3): 339-356. (In Persian)
14. Guisan, A. & N.E. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling, 135(2-3): 147-186.
15. Guisan, A. & W. Thuiller, 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecology Letters, 8: 993-1009.
16. Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani & M.R. Tatian, 2017. Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. Journal of RS and GIS of Natural Resources, 8(3): 1-24. (In Persian)
17. Jafarian, Z., L. Hosseinحoor, S. Rastgar & H. Gelichnia, 2016. Evaluating various indices for determining the spatial patterns of *Artemisia fragrans* and *Bromus tomentellus* (Case study: Baladeh Rangelands, Mazandaran). Journal of Rangeland, 10(2): 144-157. (In Persian)
18. Jafarian, Z., M. Kargar & Z. Bahreini, 2019. Which spatial distribution model best predicts the occurrence of dominant species in semi-arid rangeland of northern Iran? Ecological Informatics, 50: 32-42.
19. Jokar Sarhangi, E., 2013. A Comparative Evaluation of the Location and Development of Urban Centers in Mazandaran Province through Ecological Approach. Journal of Geography and Development, 11(33): 97-112. (In Persian)
20. Lobo, J.M., A. Jiménez-Valverdel & R. Real, 2008. AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. Global Ecology and Biogeography, 17(2): 145-151.
21. Marmion, M., M. Parviainen, M. Luoto, R.K. Heikkinen & W. Thuiller, 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. Diversity and Distributions, 15(1): 59-69.
22. Masocha, M. & T. Dube, 2018. Global terrestrial biomes at risk of cacti invasion identified for four species using consensual modelling. Journal of Arid Environment, 256: 77-86.
23. Molaei, M., A. Ghorbani, M. Moameri & A. Hossainzadeh, 2020. Habitat prediction of *Artemisia fragrans* Willd. and *A. chamaemelifolia* Vill. in elevation gradient of Ghezelozan-Aghdagh, Khalkhal. Journal of Rangeland and Desert Management, 27(3): 545-560. (In Persian)
24. Musivand, A., M. Menenti, B. Gorte & W. Verhoef, 2014. Global sensitivity analysis of the spectral radiance of a soil-vegetation system. Remote Sensing of Environment, 145: 131-144.
25. Naghipour Borj, A.A., M. Haidarian Aghakhani & H. Sangoony, 2019. Application of ensemble modelling method in predicting the effects of climate change on the distribution of *Fritillaria imperialis* L. Journal of Plant Research, 32(3): 747-758. (In Persian)
26. Natekin, A. & A. Knoll, 2013. Gradient boosting machines, A tutorial. Frontiers in Neurorobotics, 7: 1-21.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]

27. Peterson, A.T., J. Soberón, R.G. Pearson, R.P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura & M.B. Araújo, 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, NJ. 328 p.
28. 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. Journal of Mountain Science, 14(3): 558-570.
29. Robati, M. & E. Ghazanchaei, 2019. Socioeconomic and environmental situation analysis of Mazandaran province with conceptual model approach DPSIR. Human and Environment, 50: 81-100. (In Persian)
30. Sangooni, H., M.R. Vahabi, M. Tarkesh, H. Eshghizadeh & S. Soltani, 2017. Characterization of ecosystem's climate and geographical distribution of two pasture species using random forest modeling in Central Zagros region. Plant Ecosystem Conservation, 5(10): 1-17. (In Persian)
31. Sangooni, H., M.R. Vahabi, M. Tarkesh & S. Soltani, 2017. Range shift of *Bromus tomentellus* Boiss. As a reaction to climate change in Central Zagros, Iran. Applied Ecology and Environmental Research, 14(4): 85-100.
32. Srivastava, V., V.C. Griess & H. Padalia, 2018. Mapping invasion potential using ensemble modelling. A case study on Yushaniamaling in the Darjeeling Himalayas. Ecological Modelling, 385: 35-44.
33. Stohlgren, T.J., P. Ma, S. Kumar, M. Rocca, J.T. Morisette, C. Jarnevich & N. Benson, 2010. Ensemble habitat mapping of invasive plant species. Risk Analysis, 30(2): 224-235.
34. Swets, J., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240: 1285-1293.
35. Teimoori Asl, S., A.A. Naghipour, M. Ashrafzadeh & M. Haidarian, 2020. Predicting the impact of climate change on potential habitats of *Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr in Central Zagros. Journal of Rangeland, 14(3): 526-538. (In Persian)
36. Tsoar, A., O. Ahhouche, O. Steinitz, D. Rotem & R. Kadmon, 2007. A comparative evaluation of presence-only methods for modeling species distribution. Diversity and Distributions, 13(4): 397-405.
37. van der Maarel, E. & J. Franklin, 2013. Vegetation Ecology, Second Edition.Wiely-Blackwell Press, 576p.
38. Yi, Y.J., X. Cheng, Z.F. Yang & S.H. Zhang, 2016. Maxent modelling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. Ecological Engineering, 92: 260-269.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.4.2.7]