

Study of the distributional changes of *Astragalus adscendens* species in Isfahan province under the impact of climate change

Nasim Shaabani^{1*}, Mostafa Tarkesh Esfahani², Alireza Rajabi Mazhar³, Nafiseh Salahi Moghadam⁴, Peyman Akbarzadeh⁵, Hasan Shadman⁶, Mehdi Khoshbakht⁷

1*-Corresponding author, Researcher, Forests and Rangelands Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran, Email: n.shabani@areeo.ac.ir

2-Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Group, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Hamadan, Iran

4-Researcher, Economic, Social and Extension Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

5- Researcher, Forests and Rangelands Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

6-Researcher, Watershed Management Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

7-Watershed Management Expert, Hamadan General Directorate of Natural Resources, Forests, Rangelands and Watershed Management Organization, Hamadan, Iran

Received: 01/25/2025

Revised: 03/04/2025

Accepted:04/13/2024

Published: 04/26/2025

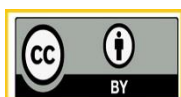
Abstract

Background and Objective

Climate change is increasingly recognized as a significant threat to biodiversity in natural ecosystems, with profound impacts on the survival, performance, and distribution of plant and animal species. These changes can lead to shifts in population dynamics, species extinctions, and alterations in the distribution of plant habitats. Therefore, understanding the climatic niche of species and predicting their responses to climate change is crucial for effective natural resource management. Species distribution models (SDMs) are powerful tools for predicting habitat changes and evaluating the potential future impacts of climate change. In this study, we compare the performance of three SDMs—Maximum Entropy Model (Maxent), Ecological Niche Factor Analysis (ENFA), and Non-Parametric Multiplicative Regression (NPMR)—to analyze the effect of climate change on the habitat distribution of *Astragalus adscendens* for the years 2050 and 2100 under the HadGEM-RCP 4.5 scenario, using the best-performing model.

Materials and Methods

Isfahan Province, with an area exceeding 107,000 square kilometers, features diverse elevations (ranging from 707 meters to approximately 4000 meters) and a variety of climatic zones, including semi-arid, steppe, semi-steppe, dry forests, and high mountains. *Astragalus adscendens*, a native and significant species of Iranian rangelands, was selected for this study. To model the species' distribution, 70 presence sites and 70 absence sites were randomly selected from the vegetation type map of Isfahan Province using a stratified sampling method. Additionally, 70 new sites were sampled through field visits in Semirom and Fereydunshahr towns, using a GPS device



to collect data for model evaluation. A total of 22 environmental layers were prepared, comprising three physiographic variables (slope, aspect, and elevation) and nineteen bioclimatic variables for the present, 2050, and 2100 under the RCP 4.5 climate scenario using the HadGEM2 general circulation model. These variables were derived from three primary parameters: monthly precipitation, minimum monthly temperature, and maximum monthly temperature. All environmental layers were created with a pixel size of one square kilometer. Finally, the three modeling methods—Maxent, ENFA, and NPMR—were applied to predict the distribution of *Astragalus adscendens*.

Results

All three models demonstrated strong performance in predicting the habitat of *Astragalus adscendens* (AUC > 0.85). A noticeable reduction in habitat area was observed under the HadGEM-RCP 4.5 climate change scenario across all models. Annual precipitation emerged as the most significant environmental factor influencing the species' distribution. Species response curves, derived from the Maxent and NPMR models, indicated that *Astragalus adscendens* thrives in areas with precipitation exceeding 350 mm and elevations above 2500 meters. The species also showed a positive relationship with slope, meaning its likelihood of occurrence increases with steeper gradients. Among the models, Maxent performed the best, exhibiting the highest AUC index.

Conclusion

Climate change, particularly reductions in precipitation and increases in temperature is expected to have significant negative effects on the distribution of *Astragalus adscendens*. By 2100, the species will likely experience a dramatic decrease in presence in Isfahan Province, particularly in the Fereydunshahr region (western part of the province). It is expected to survive only in isolated patches in the high elevations of Padanah in the Semirom region. It is important to note that the species distribution models in this study focused solely on climatic and topographic factors, excluding other potential influences such as soil properties, land management practices, and biological interactions. As such, while these results provide a general estimate of the species' potential future distribution under the HadGEM-RCP 4.5 climate scenario, more comprehensive studies incorporating additional environmental and biological variables are needed for more accurate habitat management and conservation strategies.

Keywords: *Astragalus adscendens*, climate change, Ecological niche, factor analysis, Isfahan province, maximum entropy, non-parametric multiplicative regression.

بررسی تغییرات پراکنش گونه گون گزی *Astragalus adscendens* - Boiss&Hausskn در استان اصفهان تحت تأثیر تغییر اقلیم

نسیم شعبانی^{۱*}، مصطفی ترکش اصفهانی^۲، علیرضا رجبی مظهر^۳، نفیسه صلاحی مقدم^۴، پیمان اکبرزاده^۵، حسن شادمان^۶
و مهدی خوشبخت^۷

۱- نویسنده مسئول، محقق، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

پست الکترونیک: n.shabani@areeo.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۴- محقق، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۵- محقق، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۶- محقق، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۷- کارشناس آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی استان همدان، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۳

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶

چکیده

سابقه و هدف

تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از تهدیدات جدی برای تنوع زیستی در اکوسیستم‌های طبیعی شناخته می‌شود که تأثیرات عمده‌ای بر بقا، عملکرد و پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری دارد. این تغییرات می‌توانند باعث تغییر در نرخ‌های جمعیتی، انقراض گونه‌ها و تغییرات در پراکنش رویشگاه‌های گیاهی شوند. بنابراین، درک دقیق از جایگاه اقلیمی گونه‌ها و پیش‌بینی واکنش آنها به تغییرات اقلیمی برای مدیریت منابع طبیعی ضروریست. مدل‌های پراکنش گونه‌ای (SDMs) ابزارهای مفیدی برای پیش‌بینی تغییرات رویشگاه‌ها و ارزیابی تأثیرات آینده تغییرات اقلیمی هستند. در این مطالعه، عملکرد سه مدل پراکنش گونه‌ای شامل: مدل حداکثر آنتروپی (Maxent)، تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (ENFA) و رگرسیون غیرپارامتریک مضربی (NPMR) مورد مقایسه قرار گرفته است و اثر تغییر اقلیم بر پراکنش رویشگاه گونه گون گزی طی سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ تحت سناریوی HadGEM-RCP 4.5 با استفاده از بهترین مدل بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحتی در حدود ۱۰۷ هزار کیلومتر مربع به دلیل تنوع ارتفاعی گسترده (۷۰۷ متر تا حدود ۴۰۰۰ متر)، اقلیم‌های روشنی مختلفی (نیمه بیابانی، استپی، نیمه استپی، جنگل‌های خشک و کوه‌های مرتفع) را دربرمی‌گیرد. گونه گیاهی گون گزی (*Astragalus adscendens*) به عنوان یک گونه بومی و مهم مراتع ایران شناخته می‌شود. به منظور مدل‌سازی این گونه، ۷۰ سایت حضور و ۷۰ سایت عدم حضور گونه با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی شده از نقشه تپ گیاهی استان اصفهان استخراج شد. همچنین تعداد ۷۰ سایت جدید با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی GPS از طریق بازدید میدانی در شهرستان‌های سمیرم و فریدونشهر به

عنوان داده‌های ارزیابی مدل برداشت و استفاده گردید. تعداد ۲۲ لایه محیطی شامل سه متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و ۱۹ متغیر زیست اقلیمی در سه دوره زمانی حال حاضر و سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ تحت سناریوی اقلیمی RCP ۴/۵ و مدل گردش عمومی HadGEM2 تهیه شدند، این متغیرها از سه پارامتر اصلی شامل بارش ماهانه، دمای حداقل و حداکثر ماهانه استخراج می‌شوند. تمامی لایه‌های محیطی با اندازه پیکسل یک کیلومتر مربع آماده‌سازی شدند. در نهایت سه روش مدل‌سازی شامل مدل حداکثر آنتروپی (Maxent)، تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (ENFA) و رگرسیون غیرپارامتریک مضربی (NPMR) برای پیش‌بینی پراکنش گونه گون گزی استفاده شد.

نتایج

هر سه مدل عملکرد مناسبی برای پیش‌بینی رویشگاه گونه گون گزی ارائه کردند ($AUC > 0.85$). کاهش سطح رویشگاه در هر سه مدل، تحت سناریوی تغییر اقلیم HadGEM-RCP 4.5 قابل مشاهده است. بارش سالانه به‌عنوان مهمترین عامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه گیاهی گون گزی شناسایی شد. منحنی‌های پاسخ گونه نسبت به متغیرهای محیطی مؤثر مستخرج از مدل‌های Maxent و NPMR نشان می‌دهند که گونه گون گزی در بارش‌های بیش از ۳۵۰ میلی‌متر و ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر حضور بیشتری دارد. شکل منحنی واکنش گونه گون گزی نسبت به شیب صعودی بوده و نشان می‌دهد که احتمال حضور گونه با افزایش شیب، بیشتر می‌شود. براساس ارزیابی مدل، عملکرد مدل Maxent نسبت به سایر مدل‌ها بهتر است و از شاخص AUC بالاتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی، به‌ویژه کاهش بارش و افزایش دما، تأثیرات منفی جدی بر پراکنش گونه گون گزی خواهند داشت، به‌طوری‌که تا سال ۲۱۰۰، حضور گونه گون گزی در استان اصفهان به‌ویژه در منطقه فریدونشهر (غرب استان) به شدت کاهش می‌یابد و تنها در ارتفاعات پادنا در منطقه سمیرم، به صورت لکه‌هایی در مناطق مرتفع قابل مشاهده خواهد بود. یادآوری می‌شود مدل‌های پراکنش گونه‌ای استفاده شده در این تحقیق فقط شرایط اقلیمی و توپوگرافی را در نظر گرفته است و سایر عوامل مؤثر مانند ویژگی‌های خاک، عوامل مدیریتی و برهم‌کنش‌های زیستی در آن لحاظ نشده‌اند. از این‌رو، نتایج ارائه‌شده می‌توانند برآوردی کلی از پراکنش بالقوه گونه تحت سناریو اقلیمی HadGEM-RCP 4.5 باشند ولی برای مدیریت دقیق‌تر رویشگاه، بررسی سایر عوامل محیطی و زیستی ضروریست.

واژه‌های کلیدی: آشیان اکولوژیک، استان اصفهان، تحلیل عاملی، تغییر اقلیم، حداکثر آنتروپی، رگرسیون غیرپارامتریک مضربی، *Astragalus adscenden*

مقدمه

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یک تهدید جدی برای تنوع زیستی در اکوسیستم‌های طبیعی، روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد (Dutra Silva et al., 2019). این تغییرات تأثیرات زیادی بر بقا و عملکرد گونه‌ها دارند. برخی از این تغییرات ممکن است بر نرخ‌های جمعیتی و پراکنش تنوع زیستی اثر بگذارند. از این‌رو، داشتن درک دقیق از جایگاه اقلیمی گونه‌های گیاهی و جانوری برای پیش‌بینی واکنش آنها به تغییرات اقلیمی موضوعی ضروریست (Salazar-Tortosa et al., 2024). با استفاده از داده‌های مربوط به پراکنش فعلی شاخص‌های اقلیمی، می‌توان مناطق مناسب رویشگاه گونه را در شرایط اقلیمی گذشته، فعلی و آینده پیش‌بینی کرد

(Korznikov et al., 2023). در واقع، تغییرات اقلیمی

به‌عنوان یکی از علل اصلی ظهور گونه‌های جدید، تغییر در دامنه وقوع گونه‌ها، انقراض گونه‌ها، کاهش تنوع زیستی، از دست دادن تاب‌آوری اکوسیستم‌ها و اختلال در رژیم‌های اکولوژیکی شناخته شده است. در مقیاس وسیع، تغییرات اقلیمی به‌عنوان عامل بنیادی و تعیین‌کننده پراکنش گونه‌ها در سطح جهانی مطرح شده است (Mirhashemi et al., 2023). مدل‌های پراکنش گونه‌ها (SDMs) رویکردی پرکاربرد برای برآورد جایگاه‌های اقلیمی گونه‌ها هستند (Korznikov et al., 2023) که مشاهدات میدانی رخداد گونه‌ها را به متغیرهای پیش‌بینی‌کننده محیطی مرتبط می‌کنند. این مدل‌ها به عنوان مدل‌های قابل اعتماد برای پیش‌بینی رویشگاه‌های

اقلیمی بر پراکنش گونه گون‌گزی *Astragalus adscendens* در استان اصفهان را شناسایی می‌کند. برخی از مطالعات پیشین که با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای انجام شده است، به شرح ذیل می‌باشد. [Khodaghali](#) و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه *Bromus tomentellus*. Boiss را در زاگرس جنوبی بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که گونه *B. tomentellus* تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب معادل ۱۷۰ و ۲۶۰ متر به ارتفاعات بالاتر، مهاجرت خواهد کرد. [Narouei](#) و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش رویشگاه گونه *Platychaete aucheri*. Boiss در استان سیستان و بلوچستان بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم و به تبع آن افزایش شاخص‌های دمایی، باعث حفظ رویشگاه فعلی، افزایش احتمال حضور گونه در سطح کل استان و گسترش عمودی گونه *P. aucheri* و حرکت آن به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی منطقه، خواهد شد. [Nateghi](#) و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه‌های مهم مرتعی استان البرز بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم پرداختند. در این مطالعه چهار گونه گیاهی شامل *Ferula Stipa arabica* و *Bromus tomentellus*. *ovina* در *Artemisia aucheri* محدود استان البرز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دما در اثر تغییر اقلیم، وسعت رویشگاه گونه‌های تحت بررسی کاهش خواهد یافت و به سمت مناطقی که مرتفع‌تر و دارای دمای کمتری باشند، جابه‌جا خواهند شد. [Mirjalili](#) و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی، پراکنش گیاه گز پرشاخه را در استان اصفهان مورد بررسی قرار دادند و نتایج کیفیت مدل حداکثر آنتروپی برای گز پرشاخه برابر با ۰/۹۶۷ گزارش گردید. ارزیابی صحت مدل با استفاده از ضریب آماری کاپا برابر با ۰/۸۰، نشان‌دهنده تطابق خوب مدل با واقعیت زمینی است. [Mahmoodi](#) و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی پراکنش بلوط ایرانی را در جنوب غربی ایران مورد

کنونی و آینده شناخته شده‌اند ([Mirhashemi et al., 2023](#)). با ترکیب داده‌های وقوع گونه‌ها و متغیرهای محیطی در مقیاس‌های وسیع، این مدل‌ها شاخصی به نام تناسب رویشگاه (HSI) را تخمین می‌زنند ([Cushman et al., 2024](#)) که تغییرات مکانی کیفیت رویشگاه را برای هر گونه نشان می‌دهد. اگر مدل پراکنش گونه‌ای با داده‌های حضور و غیاب گونه‌ها و داده‌های محیطی مناسب ساخته شود، انتظار می‌رود که رابطه‌ای بین تناسب رویشگاه و تغییرات مکانی پارامترهای جمعیتی (مثل موفقیت تولیدمثل و بقا و ویژگی‌های جمعیتی مانند نرخ رشد یا فراوانی) وجود داشته باشد ([Monnier-Corbel et al., 2023](#)). نقشه‌های پراکنش تناسب رویشگاه می‌توانند برای برنامه‌ریزی و اقداماتی مانند انتقال گونه‌ها، احیای رویشگاه‌ها و حفاظت از مناطق استفاده شوند. مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها از مهمترین ابزارهای پیش‌بینی کننده برای نشان دادن رویشگاه‌های مناسب کنونی گونه‌ها و پیش‌بینی تغییرات بالقوه آینده در برابر تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری زمین در مقیاس‌های محلی و جهانی هستند ([Aligaz et al., 2024](#)) و ([Singleton et al., 2024](#)). مدل‌های مختلفی مانند GARP, BIOCLIM, ENFA, GLM و MAXENT برای پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی استفاده می‌شوند ([Wang et al., 2023](#)). با این حال، کاربرد این مدل‌ها توأم با مشکلاتی مانند عدم قطعیت برخوردار است ([Jung et al., 2023](#)). یادآوری می‌شود که برقراری ارتباط بین وقوع‌های بیولوژیکی و پیش‌بینی‌کننده‌های محیطی بسیار پیچیده است و نتایج ممکن است در الگوریتم‌های مختلف و تحت پارامترهای مختلف متفاوت باشد. پیش‌بینی‌ها همچنین می‌توانند تحت تأثیر عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های سناریوهای اقلیمی آینده (مدل‌های گردش جهانی جو) قرار گیرند. بنابراین، دقت و قابلیت اطمینان مدل‌ها نه تنها به استحکام آنها در برابر منابع شناخته‌شده خطا بستگی دارد، بلکه به توانایی آنها در گنجاندن و مدیریت منابع مختلف عدم قطعیت نیز بستگی دارد ([Salazar-Tortosa et al., 2024](#)). این مطالعه با مقایسه سه مدل پراکنش گونه‌ای، بهترین مدل برای پیش‌بینی اثر تغییرات

مدل می‌باشد.

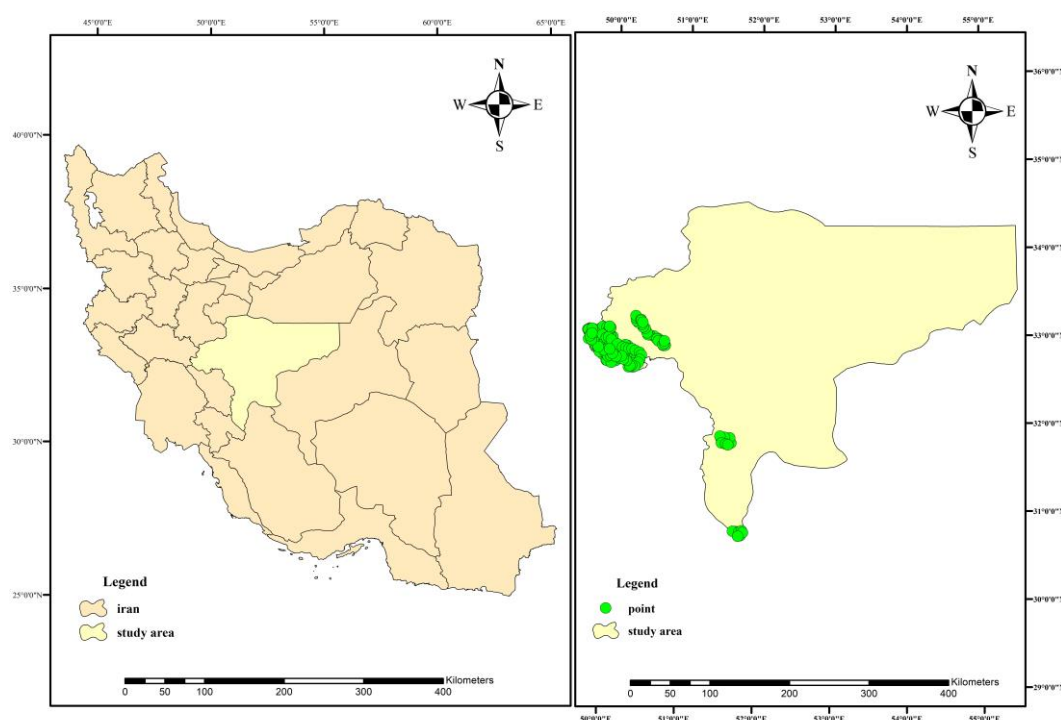
[Guo](#) و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی پراکنندگی گونه *Astragalus membranaceus*. var. *Mongholicus* در مغولستان داخلی تحت تغییرات آب و هوایی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که این گونه تحت اثر تغییر اقلیم به سمت عرض های جغرافیایی بالاتر حرکت می‌کند.

با توجه به اهمیت گونه گون گزی از دو جنبه دارویی- صنعتی و حفاظت خاک و تهدیداتی که تغییرات اقلیمی برای این گونه به همراه دارد، این تحقیق به مقایسه عملکرد سه مدل پراکنش گونه‌ای، حداکثر آنتروپی (Maxent)، تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (ENFA) و رگرسیون غیرپارامتریک مضربی (NPMR) پرداخته است و اثر تغییر اقلیم بر پراکنش رویشگاه گونه گون گزی طی سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ تحت سناریوی تغییر اقلیم HadGEM-RCP 4.5 در استان اصفهان بررسی شده است.

بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که مدل حداکثر آنتروپی از عملکرد بالایی ($AUC=0.98$) برخوردار است.

[Behmanesh](#) و همکاران (۲۰۱۹) پراکنش دو گونه گیاه دارویی آویشن و بومادران را با روش تحلیل آشیان اکولوژیک و رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار دادند. ضریب کاپا در مدل رگرسیون لجستیک برای گونه آویشن ۰/۵۷ و گونه بومادران برابر ۰/۶۳ محاسبه شد. این مقادیر در روش تحلیل آشیان اکولوژیک برای گونه آویشن ۰/۶۷ و بومادران ۰/۷۵ گزارش شد، که نتایج بیانگر برتری عملکرد مدل تحلیل آشیان اکولوژیک نسبت به مدل روش رگرسیون لجستیک می‌باشد.

[Abbasi](#) و [Zare Chahouki](#) (۲۰۱۶) مطلوبیت رویشگاه گونه *Agropyron Intermedium* را با استفاده از مدل تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک بررسی کردند و صحت مدل با استفاده از شاخص بویس برابر ۸۴ درصد تعیین شد. همچنین ضریب کاپای به دست آمده از تطبیق نقشه پیش‌بینی با واقعیت زمینی نیز ($kappa=0.76$) بیانگر عملکرد خوب



شکل ۱- منطقه مطالعاتی (استان اصفهان) به همراه نقاط حضور گونه گون گزی

Figure 1- Study Area (Isfahan Province) with Presence Points of *Astragalus adscendens* Species

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۲۹ کیلومتر مربع با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی می‌باشد (شکل ۱). پست‌ترین منطقه استان اصفهان با ارتفاع تقریبی ۷۰۰ متر واقع در نواحی شرقی و بیشترین ارتفاع در حدود ۴۴۰۰ متر در جنوب استان در امتداد رشته کوه‌های دنا قرار دارد. متوسط بارش سالانه استان ۱۶۰ میلی‌متر است. میانگین بارش سالانه در ارتفاعات غربی استان تا ۱۳۰۰ میلی‌متر و در نواحی پست شرقی و شمال‌شرقی ۶۰ میلی‌متر است و تعداد روزهای یخبندان در این استان برابر ۷۶ روز است. میزان بارش و دما در استان اصفهان تابع وضعیت توپوگرافی منطقه است. در مناطق غرب و جنوب استان که از کوه‌های مرتفع پوشیده شده است، میانگین درجه حرارت سالانه، حدود ۴ درجه سانتی‌گراد و نواحی جلگه‌ای شرق استان اصفهان، حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای هوا در این استان از غرب به شرق افزایش می‌یابد. در بین مناطق مختلف استان، شهرستان خور با میانگین دمای سالانه ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین و شهرستان سمیرم با متوسط دمای سالانه ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد، سردترین منطقه استان اصفهان هستند (Mehdizadeh et al., 2023). تغییرات ارتفاعی و تأثیر آن بر بیشتر عناصر اقلیمی، باعث حاکمیت اقلیم‌های مختلف رویشی (نیمه بیابانی، استپی، نیمه استپی، جنگل‌های خشک و کوه‌های مرتفع) در استان شده است.

معرفی گونه مورد مطالعه

گونه گون‌گری *Astragalus adscendence* گیاهی صمغ‌زا از خانواده بقولات بوده و رویشگاه اصلی آن ایران است. گون‌گری درختچه‌ای، چندساله و پایا، خودرو با ارتفاع نیم تا یک متر، با انشعاب‌های چوبی مورب بالا رونده از سطح زمین می‌باشد، به‌طوری‌که این انشعاب‌ها همسطح قرار گرفته و صفحه مساوی فوقانی تاج درختچه را تشکیل می‌دهد.

ساقه‌ها متعدد، نسبتاً قطور و برخاسته از سطح زمین به گیاه شکل قیف یا مخروط عریض وارونه را می‌دهد (Boissier, 1872; Davis, 1970). ساقه‌ها با سرشاخه کرکدار منتهی به گل‌هایی به رنگ سفید متمایل به زرد می‌باشند و هر دو پایه گل بر روی یک نهنج کرکدار قرار دارد که بر سطح جانبی قیف چسبیده‌اند. این گیاه جزء گون‌های مولد کتیراست (Asadian, 1996) و از گونه‌های ارزشمند برای حفاظت خاک و ارزش دارویی-صنعتی دارد. این گونه گون در مناطق با اقلیم سرد تا فراسرد و ارتفاعات بالاتر از ۲۴۰۰ متر با رطوبت نسبی حدود ۵۰ درصد و تعداد روزهای برفی و یخبندان بالا حضور دارد. گونه گون گزی در اراضی مرتفع و شیب‌دار بهتر از منطقه پست و ژرف رشد می‌کند. گون گزی با ویژگی‌های خاص خود مانند وجود صمغ کتیرای هیدروفیلی، تولید هورمون‌های ABA و اتیلن، کاهش سطح برگ و تشکیل خار و کرک، می‌تواند دماهای پایین و شرایط یخ‌زدگی محیط را تحمل کند و در ارتفاعات برف‌گیر به خوبی استقرار یابد. این گونه نقش مهمی در ذخیره برف، تثبیت خاک و حفاظت از دامنه‌های پرشیب دارد و زمینه مناسبی برای رشد سایر گونه‌های گیاهی مناطق کوهستانی مانند کرفس‌کوهی، موسیر و لاله واژگون فراهم می‌کند. علاوه بر این، گون گزی در تغذیه پسپل گون و تولید مان ارزشمند گزانگبین نقش اساسی دارد (Pakzad et al., 2013).

ثبت نقاط حضور و عدم حضور گونه گون گزی

به منظور مدل‌سازی گونه گون گزی، ۷۰ سایت حضور و ۷۰ سایت عدم حضور گونه با روش تصادفی طبقه‌بندی‌شده از نقشه تیپ گیاهی استان اصفهان استخراج شد. بدین منظور، ابتدا منطقه مطالعاتی با استفاده از نقشه طبقات شیب، جهت و ارتفاع و تیپ گیاهی به مناطق همگن محیطی طبقه‌بندی شده، سپس در هر منطقه همگن محیطی که گونه گون گزی حضور داشت به صورت تصادفی اقدام به انتخاب سایت حضور گونه گردید. همچنین در مناطق همگن، محیطی که گونه حضور نداشت، به صورت تصادفی اقدام به انتخاب سایت عدم حضور گونه گردید. علاوه بر این، تعداد ۷۰ سایت حضور جدید با

پراکنش احتمالی استفاده می‌کند که آنتروپی (عدم قطعیت) را در بیشترین حد خود نگه دارد، در حالی که محدودیت‌های تحمیل‌شده توسط متغیرهای محیطی را نیز رعایت کند. به عبارت دیگر، این مدل پراکنشی را پیدا می‌کند که بیشترین تعادل را بین پیچیدگی و دقت داشته باشد. پیش‌بینی رخداد گونه در Maxent براساس ایجاد نقشه احتمال حضور است که در آن مناطقی با شرایط محیطی مشابه به مناطق حضور گونه، دارای احتمال بالاتر برای حضور آن هستند. این مدل به دلیل نیاز به داده‌های حضور و قابلیت تنظیم دقیق، در بوم‌شناسی و مدل‌سازی رویشگاه‌ها پرکاربرد است. به منظور برازش مدل از نرم‌افزار Maxent استفاده شد. از سوی دیگر، مدل ENFA مبتنی بر تحلیل فاکتوری است که فقط از داده‌های حضور گونه استفاده می‌کند. در این روش، ابتدا ویژگی‌های زیست‌محیطی مکان‌های حضور گونه با کل منطقه مطالعه مقایسه می‌شود. سپس با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) دو شاخص اصلی استخراج می‌شود: شاخص حاشیه‌نشینی که نشان می‌دهد گونه در مقایسه با کل منطقه، چقدر در محیط‌های خاصی متمرکز شده است و شاخص تخصص‌گرایی که میزان وابستگی گونه به یک محدوده خاص از شرایط زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. پیش‌بینی رخداد گونه در ENFA براساس شناسایی مناطقی است که دارای شرایط مشابه با مکان‌های حضور مشاهده‌شده باشند. از نرم‌افزار BIOMAPPER برای برازش مدل استفاده شد.

ارزیابی مدل‌ها

ارزیابی مدل‌های پراکنش گونه‌ای برای سنجش دقت پیش‌بینی آنها ضروری است و از شاخص‌های مختلفی مانند AUC، Kappa و CCR برای این منظور استفاده می‌شود. شاخص AUC یا مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد سیستم، میزان توانایی مدل در تمایز بین نقاط حضور و عدم حضور را نشان می‌دهد. مقدار AUC بین ۰/۵ (عملکرد تصادفی) تا ۱ (عملکرد کامل) متغیر است و مقادیر بالا نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل است. شاخص Kappa میزان توافق بین پیش‌بینی مدل و داده‌های واقعی را بررسی می‌کند

استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی GPS از طریق بازدید میدانی در مناطق سمیرم و فریدونشهر به عنوان داده‌های ارزیابی مدل برداشت شد.

لایه‌های محیطی

به منظور مدل‌سازی پراکنش گونه، تعداد ۲۲ لایه محیطی شامل ۱۹ لایه زیست اقلیمی اخذ شده از پایگاه داده چلسا (<https://chelsa-climate.org>) در سه دوره زمانی حال حاضر و سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ تحت سناریوی اقلیمی RCP ۴/۵ و مدل گردش عمومی HadGEM2 و سه لایه فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) استفاده گردید. این لایه‌ها از سه پارامتر اصلی شامل بارش ماهانه، دمای حداقل و حداکثر ماهانه تولید شده‌اند و ارتباط معناداری با پراکنش گونه‌های گیاهی دارند. تمامی لایه‌های محیطی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 با اندازه پیکسل یک کیلومتر مربع آماده‌سازی شدند.

فرایند مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای

مدل NPMR یک روش آماری انعطاف‌پذیر است که بدون فرض پراکنش خاص داده‌ها، رابطه بین حضور گونه و متغیرهای زیست‌محیطی را به صورت غیرخطی مدل‌سازی می‌کند. این مدل برخلاف روش‌های رگرسیونی کلاسیک از تابع هسته‌ای وزن‌دهی تطبیقی استفاده می‌کند. در این روش، نقاط داده‌ای که شباهت بیشتری به شرایط محیطی گونه دارند، وزن بالاتری دریافت می‌کنند و مدل قادر است به طور محلی روابط اکولوژیکی را یاد بگیرد. برای پیش‌بینی رخداد گونه، مدل براساس وزن‌دهی به داده‌های مشاهده‌شده، احتمال حضور گونه را در مکان‌های دیگر برآورد می‌کند. این مدل به ویژه در مواردی که روابط پیچیده و غیرخطی بین گونه و محیط وجود دارد، عملکرد بالایی دارد. برای برازش مدل از نرم‌افزار NPMR استفاده گردید (McQueen). در مقابل، مدل Maxent یک روش یادگیری ماشینی است که بر اصل حداکثر آنتروپی استوار است. این مدل از داده‌های حضور گونه و مجموعه‌ای از متغیرهای زیست‌محیطی برای یافتن یک

برابر با ۰/۹۸ توانسته است عملکرد بسیار مطلوبی را ارائه دهد و در طبقه بسیار عالی براساس طبقه‌بندی (Sweet 1988) قرار گیرد. مدل NPMR با AUC برابر با ۰,۹۶۱، شاخص کاپا ۰,۹۷ و دقت کلی معادل ۰,۹۵ در رتبه دوم قرار گرفته و به عنوان یک مدل با عملکرد مطلوب ارزیابی شده است. در مقابل، مدل ENFA ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است. این مدل با AUC برابر با ۰,۸۶۴، شاخص کاپا ۰,۶۰۵ و دقت کلی معادل ۰,۸۰۲ از عملکرد متوسطی برخوردار است و در مقایسه با دو مدل دیگر عملکرد کمتری نشان داده است (جدول ۱). این تفاوت‌ها ناشی از ماهیت مدل‌ها و الگوریتم‌های مورد استفاده در فرایند مدل‌سازی است. مدل MaxEnt که مبتنی بر حداکثر آنتروپی است، توانایی بالایی در استفاده از داده‌های حضور-عدم حضور و استخراج الگوهای پراکنش از متغیرهای محیطی دارد. در مقابل، مدل ENFA که براساس آنالیز فاکتورهای محیطی عمل می‌کند، در این مطالعه نتوانسته است عملکرد بهینه‌ای ارائه دهد. این نتایج نشان می‌دهند که انتخاب مدل مناسب برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها، وابسته به دقت الگوریتم و توانایی آن در پردازش روابط پیچیده بین متغیرهای محیطی و حضور گونه است.

و اثر احتمال توافق تصادفی را حذف می‌کند. مقدار Kappa از ۱- تا ۱ متغیر است که مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده دقت بالای مدل و مقادیر نزدیک به صفر بیانگر عدم تفاوت معنادار بین پیش‌بینی مدل و یک پیش‌بینی تصادفی است. شاخص CCR یا نرخ کلی طبقه‌بندی صحیح، درصد نقاط درست طبقه‌بندی شده را محاسبه می‌کند و یک معیار کلی برای ارزیابی دقت مدل است. مقادیر بالاتر CCR نشان‌دهنده توانایی بهتر مدل در پیش‌بینی صحیح حضور و عدم حضور گونه است. این شاخص‌های آماری امکان می‌دهد تا عملکرد مدل‌های پراکنش گونه‌ای به صورت جامع ارزیابی شوند و مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها انتخاب شود.

یافته‌ها

مقایسه مدل‌ها براساس شاخص‌های آماری ارزیابی مدل‌های مختلف در پیش‌بینی پراکنش گونه گوزی (*Astragalus adscendens*) نشان داد که مدل Maxent با بالاترین شاخص‌های ارزیابی، بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر مدل‌ها دارد. این مدل با سطح زیر منحنی AUC برابر با ۰/۹۸۳، شاخص کاپا معادل ۰/۹۹ و دقت کلی

جدول ۱- ارزیابی مدل‌های مورد مطالعه

Table 1- Evaluation of the Models Studied

SDM	Classification of Area Under the Curve (AUC) (Sweet, 1988)	CCR	Kapp	AUC
Maxent	Very excellent	0.98	0.99	0.983
Npmr	Very excellent	0.95	0.97	0.961
Enfa	excellent	0.802	0.605	0.864

Range of Index Variations (1-, 1+)

کلیدی این متغیر در تعیین رویشگاه مناسب برای این گونه است.

براساس مدل Maxent، علاوه بر متوسط بارش سالانه (Bio12)، متغیرهای ارتفاع (Elevation)، متوسط دمای گرم‌ترین فصل (Bio10)، متوسط دمای خشک‌ترین فصل (Bio9) و شیب (Slope) نیز تأثیر قابل توجهی بر پراکنش

مهمترین متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گونه گوزی هریک از مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه، مهمترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه گوزی را شناسایی کردند که در جدول ۲ ارائه شده است. در میان این متغیرها، متوسط بارش سالانه (Bio12) به عنوان عامل مشترک در تمامی مدل‌ها شناسایی شد که نشان‌دهنده نقش

پراکنش این گونه معرفی کرده است. این نتایج نشان می‌دهند که تغییرات بارش سالانه می‌توانند تأثیر مستقیمی بر پراکنش و بقای گونه گون گزی داشته باشند. علاوه بر آن، تأثیر ارتفاع و دما در برخی مدل‌ها نیز بر اهمیت عوامل توپوگرافی و اقلیمی در تعیین رویشگاه مطلوب این گونه تأکید دارد.

این گونه داشته‌اند. در مدل ENFA، تنها دو متغیر متوسط بارش سالانه (Bio12) و ارتفاع (Elevation) به‌عنوان مهمترین عوامل تأثیرگذار شناخته شدند. مدل NPMR نیز علاوه بر متوسط بارش سالانه (Bio12)، متوسط دمای مرطوب‌ترین فصل (Bio8) را به‌عنوان متغیر کلیدی در

جدول ۲- مهمترین متغیرهای محیطی تعیین شده با استفاده از مدل‌های مختلف

Table 2- The Most Important Environmental Variables Identified Using Different Models.

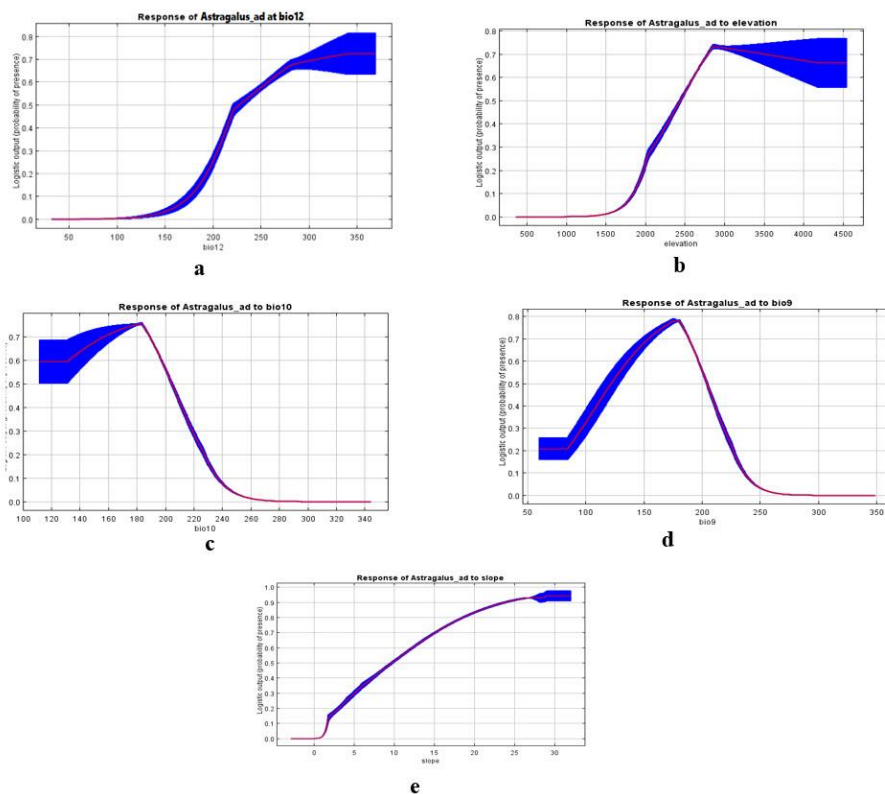
SDM	The Most Important Environmental Variables.
Maxent	Slope ,Bio9 ,Bio10 ,Elavation ,Bio12
Enfa	Elavation ,Bio12
Npmr	Bio8 ,Bio12

حساسیت این گونه به دمای بالا در فصل خشک می‌باشد. شکل ۲-e منحنی پاسخ گونه به شیب (Slope) را نمایش می‌دهد. این منحنی دارای روندی صعودی بوده و نشان می‌دهد که احتمال حضور گونه در شیب‌های بالاتر از ۵ درجه و به‌ویژه بیش از ۲۵ درجه افزایش می‌یابد. این الگو نشان‌دهنده توانایی گونه در استقرار در مناطق با شیب متوسط تا زیاد است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که گون گزی به‌طور ویژه تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی و توپوگرافی قرار دارد و تغییرات در این متغیرها می‌توانند نقش مهمی در پراکنش مکانی این گونه ایفا کنند.

نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه گون گزی تحلیل نتایج مدل‌سازی پراکنش گون گزی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی نشان‌دهنده کاهش شدید رویشگاه‌های مناسب در آینده است. در جدول ۳، مساحت مناطق مطلوب (حضور گونه < ۵۰ درصد) و نامطلوب برای این گونه (حضور گونه > ۵۰ درصد) در سه دوره زمانی (حال حاضر، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰) با استفاده از مدل‌های مختلف (MaxEnt, ENFA, NPMR) ارائه شده است. همچنین، شکل ۳ نقشه‌های مربوط به پراکنش این گونه را در بازه‌های زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد.

منحنی‌های واکنش گونه گون گزی نسبت به متغیرهای محیطی مؤثر

مدل Maxent منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گونه گون گزی را ارائه می‌کند (در شکل ۲ نمایش داده شده است). این منحنی‌ها بیانگر رابطه بین احتمال حضور گونه و تغییرات متغیرهای محیطی کلیدی هستند. براساس شکل ۲-a، واکنش گونه نسبت به متوسط بارش سالانه (Bio12) روندی صعودی دارد. احتمال حضور گون گزی در مناطقی با بارش سالانه بیش از ۳۵۰ میلی‌متر به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده وابستگی این گونه به مناطق با بارندگی بالا است. در شکل ۲-b، منحنی پاسخ گونه نسبت به ارتفاع (Elevation) یک الگوی سیگموئیدی را نشان می‌دهد. براساس این منحنی، گون گزی عمدتاً در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر دیده می‌شود که نشان‌دهنده ترجیح رویشگاهی این گونه برای مناطق مرتفع است. شکل ۲-c نشان می‌دهد که گونه نسبت به میانگین دمای گرم‌ترین فصل (Bio10) واکنشی کاهشی دارد، به‌طوری که احتمال حضور گونه در دماهای بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌شدت کاهش می‌یابد. به‌طور مشابه، شکل ۲-d - نشان می‌دهد که واکنش گونه به میانگین دمای خشک‌ترین فصل (Bio9) نیز به‌صورت منحنی کاهشی است که بیانگر

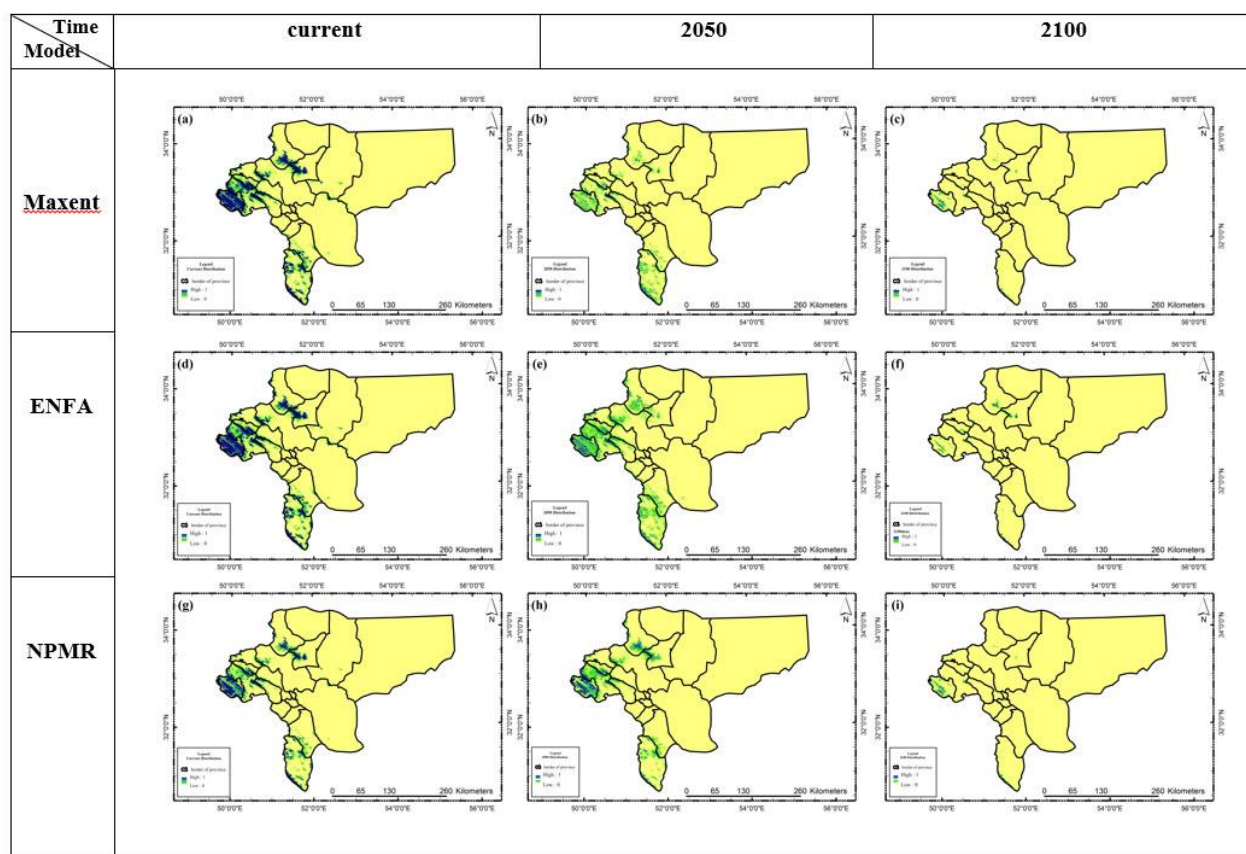


شکل ۲- مهمترین منحنی‌های واکنش گونه گون گزی نسبت به متغیرهای محیطی (a: بارش سالانه [میلی‌متر]، b: ارتفاع (متر)، c: میانگین دمای گرم‌ترین فصل (درجه سانتی‌گراد)، d: میانگین دمای خشک‌ترین فصل (درجه سانتی‌گراد) و e: شیب (درجه)

Figure 2- The most important response curves of the species of the genus *Gasi* to environmental variables (a: annual precipitation (mm), b: altitude (m), c: average temperature of the warmest season (degrees C), d: average temperature of the driest season (degrees C) and e: slope (degrees)

(۰٫۳۸٪) کاهش یافته است. این روند نزولی در سال ۲۱۰۰ شدت بیشتری پیدا کرده، به‌طوری‌که مدل Maxent تنها ۲۰٫۲۱ کیلومترمربع (۰٫۰۷۳٪) را به‌عنوان رویشگاه مناسب شناسایی کرده است. نتایج نقشه‌های ارائه‌شده در شکل ۳ این کاهش شدید را به‌خوبی نشان می‌دهد. در نقشه حال حاضر گونه، مناطق مطلوب در برخی نواحی غربی و جنوبی قابل مشاهده است، اما در سال ۲۰۵۰ این مناطق به‌طور چشمگیری کاهش یافته و پراکندگی آنها محدودتر شده است. در سال ۲۱۰۰، رویشگاه‌های مناسب به شدت کاهش یافته و بیشتر نواحی مطالعه‌شده نامناسب پیش‌بینی شده‌اند.

براساس نتایج، تحت شرایط حال حاضر، محدوده رویشگاه مطلوب در مدل Maxent برابر با ۲۳۸۸٫۳۴ کیلومترمربع (۱٫۳٪)، در مدل ENFA برابر با ۲۸۴۶٫۹۹ کیلومترمربع (۲٫۶۶٪) و در مدل NPMR برابر با ۳۵۵۲٫۵۴ کیلومترمربع (۱٫۳۲٪) است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل ENFA مساحت بیشتری را برای رویشگاه مناسب شناسایی کرده است. با بررسی پیش‌بینی‌های سال ۲۰۵۰، تمامی مدل‌ها کاهش شدیدی را در رویشگاه مطلوب نشان می‌دهند. مساحت رویشگاه مناسب در مدل Maxent به ۴۳۱٫۲۷ کیلومترمربع (۰٫۳۹٪)، در مدل ENFA به ۴۷۳٫۳۰ کیلومترمربع (۰٫۴۰٪) و در مدل NPMR به ۴۱۵٫۵۲ کیلومترمربع



شکل ۳- نقشه رویشگاه مطلوب گونه گون گزی تحت سناریو اقلیمی RCP ۴/۵ و مدل گردش عمومی HadGEM2-CC مدل Maxent (a: حال حاضر، b: ۲۰۵۰، c: ۲۱۰۰)، مدل Enfa (d: حال حاضر، e: ۲۰۵۰، f: ۲۱۰۰)، مدل Nmpr (g: حال حاضر، h: ۲۰۵۰، i: ۲۱۰۰).

Figure 3- Habitat suitability map for *Astragalus adscendence* under the RCP 4.5 climate scenario and the HadGEM2-CC General Circulation Model using MaxEnt (a: current, b: 2050, c: 2100), ENFA (d: current, e: 2050, f: 2100), and NPMR (g: current, h: 2050, i: 2100)

جدول ۳- مقدار و مساحت مناطق مطلوب و نامطلوب رویشگاه گونه گون گزی با استفاده از مدل‌های مختلف

Table 3- Area and Extent of Suitable and Unsuitable Regions of *Astragalus adscendence* Habitat Using Different Models

Time	Model	Area Type	Area (Km ²)	Area (%)
current	Maxent	Suitable Area	2388.337	1.3
		Unsuitable Area	100820.6	98.7
	ENFA	Suitable Area	2846.99	2.66
		Unsuitable Area	881416.16	97.34
	NPMR	Suitable Area	3552.54	1.32
		Unsuitable Area	100824.72	98.68
2050	Maxent	Suitable Area	431.27	0.39
		Unsuitable Area	105190.41	99.61
	ENFA	Suitable Area	473.30	0.40
		Unsuitable Area	97000.09	99.6
	NPMR	Suitable Area	415.52	0.38
		Unsuitable Area	1053184.2	99.62
2100	Maxent	Suitable Area	20.21	0.073
		Unsuitable Area	1053184.2	99.927

Time	Model	Area Type	Area (Km ²)	Area (%)
2100	ENFA	Unsuitable Area	110941.55	99.927
		Suitable Area	27.34	0.025
		Unsuitable Area	106654.87	99.975
	NPMR	Suitable Area	18.71	0.017
		Unsuitable Area	106842.01	99.983

بحث

مهمترین متغیر محیطی مؤثر بر پراکنش گونه گون‌گری در هر سه مدل (حداکثر آنتروپی، تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک و رگرسیون غیرپارامتریک مضربی) به‌طور مشترک، متوسط بارش سالیانه (bio12) است. این متغیر در مطالعه [Haidarian](#) و همکاران (۲۰۲۱) نیز به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر پراکنش گونه گون‌گری در منطقه چهارمحال و بختیاری شناسایی شد. نتایج نشان می‌دهد که کاهش میزان بارش، به‌ویژه در مناطق خشک‌تر، تأثیر منفی قابل‌توجهی بر پراکنش این گونه دارد و حتی ممکن است موجب حذف آن از این مناطق شود. به عبارت دیگر، اگر میزان بارش سالیانه (bio12) به حد معینی (۲۰۰-۳۵۰ میلی‌متر) نرسد، (شکل ۲، قسمت a) این گونه به تدریج از این نواحی حذف خواهد شد. علاوه بر این، بررسی منحنی‌های واکنش گونه گون‌گری نسبت به عوامل محیطی در شرایط رویشی فعلی نشان داد که این گونه در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر، شیب‌های ۵ تا ۳۰ درجه، متوسط بارش سالیانه بیش از ۳۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد، بهترین شرایط را برای پراکنش دارد. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده نیاز این گونه به شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی است. در مناطقی که این شرایط فراهم نیست یا در حال تغییر هستند، حضور گونه گون‌گری به‌شدت محدود خواهد شد. مطالعه [Haidarian](#) و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که احتمال حضور گونه گون‌گری در رویشگاه‌هایی با شیب ۰.۱ تا ۳۰ درجه، حداکثر ارتفاع ۳۳۶۰ متر و بارش سالیانه ۳۸۰-۶۳۰ میلی‌متر وجود دارد. همچنین، [Pakzad](#) و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که این گونه در ارتفاعات بالاتر از ۲۴۰۰ متر یافت می‌شود. نتایج این مطالعات با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. در ارزیابی مدل‌ها، با توجه به شاخص‌های آماری، مدل Maxent

عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر نشان داد (AUC = 0.983) در حالی که مدل ENFA دارای عملکرد ضعیف‌تری بود (AUC = 0.864). این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر دقت نتایج دارد و می‌تواند ابزار ارزشمندی برای مدیریت بهتر منابع طبیعی باشد. دقت بالاتر مدل Maxent احتمالاً به دلیل توانایی آن در استفاده از داده‌های حضور و ترکیب آنها با پس‌زمینه محیطی، بدون نیاز به داده‌های عدم حضور است. این ویژگی باعث می‌شود که Maxent در شرایطی که داده‌های عدم حضور قابل‌اعتماد در دسترس نیستند، عملکرد بهتری داشته باشد. این یافته‌ها با مطالعات [Yang](#) و همکاران (۲۰۲۲) و [Fu](#) و همکاران (۲۰۲۴) که کارایی بالای مدل Maxent را در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها تأیید کرده‌اند، همخوانی دارد. براساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده، احتمال حضور گونه گون‌گری تحت سناریوی تغییر اقلیم HadGEM-RCP 4.5 در دوره‌های زمانی ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ در استان اصفهان به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. مطالعه [Haidarian](#) و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده است که رویشگاه مطلوب این گونه در استان چهارمحال و بختیاری تحت تأثیر تغییرات اقلیمی رو به زوال است. این روند کاهشی عمدتاً ناشی از کاهش بارش سالیانه و افزایش دمای متوسط سالیانه تحت سناریوی تغییر اقلیم است، که منجر به محدود شدن پراکنش گونه تا سال ۲۱۰۰ می‌شود. به‌ویژه در منطقه فریدونشهر احتمال حضور این گونه به‌شدت کاهش یافته و تنها در ارتفاعات منطقه سمیرم (پادنا) قابل مشاهده خواهد بود. این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت بالای تغییرات اقلیمی در پراکنش گونه‌های گیاهی هستند، به‌طوری‌که ممکن است برخی گونه‌ها در معرض انقراض محلی قرار گیرند یا تنها در مناطق مرتفع‌تر که شرایط اقلیمی

تا سال ۲۱۰۰ تقریباً از بین خواهند رفت. با توجه به نقش اکولوژیکی مهم این گونه در اکوسیستم‌های مرتعی، اتخاذ اقدامات حفاظتی و مدیریتی ضروریست. در این راستا، شناسایی مناطق پناهگاهی که در آینده نیز شرایط زیستی مطلوبی برای این گونه خواهند داشت، ضروری بوده و این مناطق باید تحت حفاظت ویژه قرار گیرند. علاوه بر این، اجرای برنامه‌های احیایی از طریق کاشت نهال و مدیریت صحیح چرا، می‌تواند به تقویت رویشگاه‌های کنونی و افزایش مقاومت اکوسیستم در برابر تغییرات اقلیمی کمک کند. توسعه بانک‌های ژنتیکی از طریق جمع‌آوری و ذخیره بذرها این گونه نیز اقدامی حیاتی برای استفاده در برنامه‌های احیایی آینده خواهد بود. از سوی دیگر، کاهش فشار چرای دام در رویشگاه‌های باقی‌مانده برای جلوگیری از تخریب و کاهش استرس بر روی این گونه ضرورت دارد. همچنین، مدیریت منابع آب از طریق اجرای برنامه‌هایی برای حفظ رطوبت خاک و افزایش ذخیره آب در مناطق حساس می‌تواند نقش مؤثری در پایداری رویشگاه‌های این گونه ایفا کند. در نهایت، پایش مستمر تغییرات رویشگاه با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل‌های پیش‌بینی، امکان تدوین برنامه‌های مدیریتی متناسب را فراهم می‌کند. این نتایج بر ضرورت سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی و مدیریتی برای کاهش اثرهای تغییرات اقلیمی بر گونه‌های حساس مانند گون گزی تأکید دارد.

مناسب‌تری دارند، باقی بمانند. این موضوع بر لزوم برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریتی مؤثر برای گونه‌های حساس به تغییرات اقلیمی تأکید دارد. علاوه بر متغیرهای اقلیمی، سایر ویژگی‌های محیطی از جمله عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک، عوامل مدیریتی مانند احداث مناطق مسکونی، مدیریت چرا (شدت و زمان بهره‌برداری) و عوامل زیستی مانند رقابت و کنش‌های متقابل گونه‌های گیاهی و جانوری می‌توانند نقش بسزایی در پراکنش و بقای گونه‌های گیاهی داشته باشند. بنابراین، با توجه به اینکه در این مطالعه تنها فاکتورهای اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که آشیان اکولوژیک ظرفیت اقلیمی گونه گون گزی مدل سازی و نمایش داده شده است. به عبارت دیگر، این مدل پراکنش گونه را فقط براساس شرایط اقلیمی مطلوب آن پیش‌بینی کرده و سایر عوامل مؤثر، به‌ویژه ویژگی‌های خاک، فشارهای انسانی و برهم‌کنش‌های زیستی در آن لحاظ نشده‌اند. از این رو، نتایج ارائه‌شده می‌توانند برآوردی کلی از پراکنش بالقوه گونه تحت سناریوهای اقلیمی باشند، اما برای مدیریت دقیق‌تر رویشگاه، بررسی سایر عوامل محیطی و زیستی ضروریست.

جمع‌بندی و پیشنهادهای مدیریتی

نتایج این مطالعه نشان داد که پراکنش گون گزی (*Astragalus adscendens*) در آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیمی به شدت کاهش خواهد یافت، به‌طوری‌که مدل‌های مختلف پیش‌بینی می‌کنند که رویشگاه‌های مطلوب این گونه

References

- Abbasi, M. and Zare Chahouki, M. A., 2016. Habitat suitability modeling for *Agropyron intermedium* species using Ecological Niche Factor Analysis (case study: rangeland of Taleghan mian). Journal of Plant Research, 29(4): 819-832. 20.1001.1.23832592.1395.29.4.12.0. [In Persian]
- Aligaz, M. A., Bekele, A., and Bogale, B. A., 2024. Predicting climate change impact on the habitat of Ethiopia's spot-breasted lapwing using ensemble model. Global Ecology and Conservation, 54: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03139>.
- Asadian, G., 1996. Autoecology of tragacanth-producing *Astragalus* species and their exploitation method in Artemisia south of Alvand, Hamedan. M.Sc. thesis, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, 150 pp. [In Persian].
- Azimi, F., Haji Hashemi, S., and Sadeghi, S.E., 2016. Factors affecting the decline of *Astragalus adscendens* producing tragacanth in the Golestankouh region of Khansar. the 22nd

- Iranian Plant Protection Congress, Iran, 27-30 Aug: 669. [In Persian].
- Behmanesh, B., Tabasi, E., Fakhireh, A. and Khalasi Ahvazi, L., 2019. Modeling the distribution of medicinal plant species of *Thymus kotschyianus* and *Achillea millefolium* using ENFA and Logistic Regression. *PEC*, 6(13): 91-120. [In Persian].
 - Boissier, E. P., 1872. *Flora Orientalis*. Five volumes and supplement. Geneva & Basle, 317p.
 - Cushman, S. A., Kilshaw, K., Campbell, R. D., Kaszta, Z., Gaywood, M., and Macdonald, D. W., 2024. Comparing the performance of global, geographically weighted and ecologically weighted species distribution models for Scottish wildcats using GLM and Random Forest predictive modeling. *Ecological Modelling*, 492: 110691. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110691>
 - Davis, P. H., 1970. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Printed in Great. Edinburgh University Press.
 - Dutra Silva, L., Brito de Azevedo, E., Vieira Reis, F., Bento Elias, R., and Silva, L., 2019. Limitations of species distribution models based on available climate change data: a case study in the Azorean forest. *Forests*, 10(7): 575. <https://doi.org/10.3390/f10070575>
 - Fu, C., Wen, X., Huang, T., Wang, Y., Liu, X., Jiang, N., and Zhao, J., 2024. Comparison of GARP and MaxEnt in Modeling Current and Future Geographic Distribution of *Ceracris nigricornis* Walker (Acrididae, Orthoptera) in China. *Ecology and Evolution*, 14(10): 1-10. <https://doi.org/10.1002/ece3.70439>.
 - Guo, J., Zhang, C., Zhang, M., Bi, Y., Wang, M. and Li, M., 2024. Analysis of the distribution of *Astragalus membranaceus* var. *Mongholicus* in Inner Mongolia under climate change using the GEE platform. *Science of Traditional Chinese Medicine*, 2(3): 237-244. <https://doi.org/10.1097/st9.00000000000000045>.
 - Haidarian, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh, M. and Tatian, M. R., 2021. The effects of climate changes on the future distribution of *Astragalus adscendens* in Central Zagros, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11(2): 152-170.
 - Jung, J. B., Park, G. E., Kim, H. J., Huh, J. H., and Um, Y., 2023. Predicting the habitat suitability for *Angelica gigas* medicinal herb using an ensemble species distribution model. *Forests*, 14(3): 592. <https://doi.org/10.3390/f14030592>.
 - Khodaghali, M., Saboohi, R., Bayat, M., Ashouri, P. and Motamedi, J., 2022. Effects of climate change on the habitat of *Bromus tomentellus* Boiss in south Zagros based on climate prediction model. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 29(4): 531-541. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.128073>. [In Persian].
 - Korznikov, K., Petrenko, T., Kislov, D., Krestov, P., and Doležal, J., 2023. Predicting Spruce Taiga Distribution in Northeast Asia Using Species Distribution Models: Glacial Refugia, Mid-Holocene Expansion and Future Predictions for Global Warming. *Forests*, 14(2): 219. <https://doi.org/10.3390/f14020219>.
 - Mahmoodi, S., Ahmadi, K., Zahravi, M. and Karami, O., 2022. Modeling of Iranian oak distribution in the southwest of Iran based on the presence-based approach Maximum Entropy (MaxEnt). *Journal of Forest Research and Development*, 8(2): 113-131. <https://doi.org/10.30466/jfrd.2021.53916.1576>. [In Persian].
 - Mehdizadeh, S., Ahmadi, F., and Kouzehkalani Sales, A., 2023. Development of wavelet-based hybrid models to enhance daily soil temperature modeling: application of entropy and τ -Kendall pre-processing techniques. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(2): 507-526. [In Persian].
 - Mirhashemi, H., Heydari, M., Karami, O., Ahmadi, K., and Mosavi, A., 2023. Modeling climate change effects on the distribution of oak forests with machine learning. *Forests*, 14(3): 469. <https://doi.org/10.3390/f14030469>.
 - Mirjalili, S. A., Jaberalansar, Z. and Ghavampour, M. A., 2021. Modeling the distribution of *Tamarix ramosissima* in Isfahan Province based on Maximum Entropy Model (MAXENT). *Journal of Arid Biome*, 11(2): 45-

55.
<https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2022.18347.1889> [In Persian].
- Monnier-Corbel, A., Robert, A., Hingrat, Y., Benito, B. M., and Monnet, A. C., 2023. Species Distribution Models predict abundance and its temporal variation in a steppe bird population. *Global Ecology and Conservation*, 43 (2): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02442>.
 - Narouei, M., Khodaghohi, M. and Saboohi, R., 2024. The effect of climate change on the habitat distribution of *Platychaete aucheri* Boiss species in Sistan and Baluchestan province based on climate prediction model. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 31(3): 284-300. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2024.132036>. [In Persian].
 - Nateghi, S., Khodaghohi, M., Souri, M. and Eftekhari, A., 2024. Assessment of the effects of climate change on the habitat of important rangeland species in Alborz province based on the climate prediction model. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 31(3): 301-322. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2024.132044>. [In Persian].
 - Pakzad, Z., Raeini Sarjaz, M. and Khodaghohi, M., 2013. Evaluation of the effects of climate factors on the distribution of the habitats of *Astragalus adscendens* in Isfahan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(1): 112-212. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2013.3009>. [In Persian].
 - Salazar-Tortosa, D. F., Saladin, B., Castro, J., and Rubio de Casas, R., 2024. Climate change is predicted to impact the global distribution and richness of pines (genus *Pinus*) by 2070. *Diversity and Distributions*, 30(2): 1-17. <https://doi.org/10.1111/ddi.13849>.
 - Singleton, A. L., Glidden, C. K., Chamberlin, A. J., Tuan, R., Palasio, R. G., Pinter, A., ... and De Leo, G. A., 2024. Species distribution modeling for disease ecology: a multi-scale case study for schistosomiasis host snails in Brazil. *PLOS Global Public Health*, 4(8): 1-28. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0002224>.
 - Wang, Z., Xu, D., Liao, W., Xu, Y., and Zhuo, Z., 2023. Predicting the current and future distributions of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) based on the MaxEnt species distribution model. *Insects*, 14(5): 1-12. <https://doi.org/10.3390/insects14050458>.
 - Yang, J., Huang, Y., Jiang, X., Chen, H., Liu, M., and Wang, R., 2022. Potential geographical distribution of the endangered plant *Isoetes* under human activities using MaxEnt and GARP. *Global Ecology and Conservation*, 38(2): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02186>.