Integrated Watershed Management, summer, 2023, 3(2), 80-98 **Article Type: Research**

doi: 10.22034/IWM.2023.2007169.1093 **Online ISSN: 2783-4581**

Predicting the effect of climate change on distribution of valerian (*Valeriana sisymbriifolia*) species using MaxEnt model in Isfahan province

Nassim Shabani[1*], Mehdi Khoshbakht[1], Azadeh Hasani[2]

1. Department of Range management, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2. Department of desertification, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

***Corresponding Author:** shabani.nassim@yahoo.com

(Received: 16 July 2023 Revised: 02 August 2023 Accepted: 09 August 2023)

Extended Abstract

Introduction: Climate change is one of the most important issues in the world, which has great effects on ecosystems and their diversity. One of the most important factors of climate change is the increase in temperature and change in the precipitation pattern, which affects the distribution of plant species. The use of species distribution models is one of the most reliable techniques for investigating the impact of climate change on the distribution of plant species. One of the methods of plant distribution modeling is using the maximum entropy model. This model uses environmental conditions such as temperature, precipitation, and geographic altitude as inputs, and based on that, plant distribution is predicted. This model predicts the probability of species distribution in the new environment based on the theory of maximum entropy and based on the available data. In this model, based on the information we have about species distribution in different environments, a probability distribution is obtained for species distribution, which has the highest entropy. However, for the best prediction of the distribution of the species, we need to have detailed information about the biophysical, ecological and environmental characteristics of the species in question. In this method, instead of trying to model all aspects of the species and the environment, only the available information about the distribution of the species is used. In this study, the effect of climate change on the distribution of valerian (*Valeriana sisymbriifolia*) species is predicted using the maximum entropy model in Isfahan province.

Materials and methods: In this study, the effect of climate change on the prediction of the distribution of *Valeriana sisymbriifolia* species in Isfahan province was investigated using MaxEnt model. For this purpose, 50 points of presence of example in May 2022 in different regions were first registered by GPS device by random sample method and after collecting environmental data including 10 climate changes and 3 physiographic changes, the effect of climate change on the distribution of the plant species *Valeriana sisymbriifolia* in Isfahan province was investigated using the entropy machine model and in the time periods of 2020, 2050 and 2100, under two scenarios: SSP2 and RCP4.5. To study the effect of climate change on the distribution of *Valeriana sisymbriifolia* plant species in Isfahan province, new climate scenarios including SSP (Shared Socioeconomic Pathways) and RCP (Representative Concentration Pathways) scenarios were used. The SSP scenarios in the GFDL-ESM4 general circulation model correspond to a combination of paths in which the economy, population, and politics will change in the future. The RCP scenarios in HadGEM2-CC general circulation models also correspond to different levels of future greenhouse emissions.

Results and Discussion: The results showed that the distribution of *Valeriana sisymbriifolia* species in Isfahan province will decrease from 3.07% to 0.047% under RCP4.5 scenario in 2020 to 2100. Also, the distribution of this species under the SSP2 scenario showed that from 2020 to 2100, the distribution of the species and its favorable habitat will decrease from 3.74% to 1.554%. In fact, under both studied climate scenarios, the ideal habitat of valerian has decreased and will be completely lost in some areas. The entropy machine model showed that there are several factors affecting the distribution of valerian

Integrated Watershed Management, Summer, 2023, 3(2), 80-98 **Article Type: Research**

doi: 10.22034/IWM.2023.2007169.1093 **Online ISSN: 2783-4581**

including slope, rainfall in the coldest season of the year, annual rainfall and altitude. Also, this model obtained Auc=0.95 in the evaluation, which shows the excellent prediction of the entropy model in predicting species distribution.

Conclusion: According to the output maps from the MaxEnt model and also according to the influence of important variables in this process, it can be concluded that the distribution of the species in question is decreasing under the influence of climate change in successive years. In addition, according to the response curves of the species in terms of physiography, as the slope and height increase in the area in question, the amount of distribution of the Hyacinth species also increases. Also, according to the field observations, it can be said that the species in question is observed in the slope and at very high altitudes, such that during sample collection the species in question was present at an altitude of 3000 meters, and the reason for this can be attributed to the strong roots of the plant, which creates the ability to reproduce in rocky conditions. On the other hand, because other species do not tolerate the same conditions, their presence decreases and the competition it decreases for the Hyacinth species. The response curves of the species to changes in rainfall also show that the more the annual rainfall and the rainfall in the cold months, the more likely the presence of the species will be, such that the more the annual rainfall exceeds 250 mm, the more likely it will occur.

Keywords: Climate change, *Valeriana sisymbriifolia*, MaxEnt model, species distribution model.

Citation: Shabani, N., khoshbakht, M., & hasani, A. (2023). Predicting the effect of climate change on distribution of valerian (*Valeriana sisymbriifolia*) species using MaxEnt model in Isfahan province. *Integrated Watershed Management*, 3(2), 80-98. doi: 10.22034/iwm.2023.2007169.1093.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، صفحات (۹۸-۸۰) نوع مقاله: پژوهشی

شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳ doi: 10.22034/iwm.2023.2007169.1093

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*Valeriana sisymbriifolia*) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در استان اصفهان

نسیم شعبانی*[۱]، مهدی خوشبخت[۱]، آزاده حسنی[۲]

۱- گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

***نویسنده مسئول:** shabani.nassim@yahoo.com

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۴/۲۵ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۵/۱۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۵/۱۸)

چکیده

وضعیت پوشش گیاهی ایران، متأثر از وضعیت طبیعی آب و هوایی منطقه است. به‌طوری‌که از نظر کمی و کیفی باعث سرعت رشد و یا عدم رشد و مساعد شدن و نشدن محیط گیاهان می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*Valeriana sisymbriifolia*) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در استان اصفهان است. لذا با استفاده از ۵۰ نقطه از حضور گونه و متغیرهای اقلیمی ناشی از سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و SSP2 و همچنین ۳ متغیر فیزیوگرافی، پراکنش سنبل‌الطیب برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ پیش‌بینی گردید. نتایج مطالعه نشان داد که پراکنش یا رویشگاه مطلوب گونه سنبل‌الطیب در استان اصفهان تحت سناریوی RCP4.5 از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ از ۳/۰۷ درصد به ۰/۰۴۷ درصد و تحت سناریوی SSP2 از ۳/۷۴ درصد به ۱/۵۵۴ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. درواقع تحت هر دو سناریوی اقلیمی موردمطالعه، رویشگاه مطلوب گونه سنبل‌الطیب کاهش داشته و در برخی از مناطق به‌طور کامل از بین خواهد رفت. به‌علاوه با توجه به منحنی‌های عکس‌العمل گونه از نظر فیزیوگرافی هرچه شیب و ارتفاع در منطقه موردنظر افزایش یابد، مقدار پراکنش گونه سنبل‌الطیب نیز افزایش می‌یابد و با توجه به مشاهدات میدانی می‌توان گفت که گونه موردنظر در شیب و ارتفاعات بسیار بالا مشاهده می‌شود به‌طوری‌که در هنگام برداشت نمونه گونه موردنظر تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری حضور داشت که این امر به دلیل داشتن ریشه‌های قوی گیاه است که توان زادآوری در شرایط سنگلاخی را ایجاد می‌کند و از طرف دیگر به دلیل اینکه گونه‌های دیگر تحمل شرایط مشابه را ندارند حضور آن‌ها کم می‌شود و رقابت برای گونه سنبل‌الطیب کاهش می‌یابد. منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به تغییرات بارندگی نیز نشان می‌دهد که هرچه بارش سالیانه از ۲۵۰ میلی‌متر بیشتر گردد احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. لذا تحت تأثیر تغییرات اقلیمی اعم از کاهش بارش و افزایش دما از رویشگاه مطلوب گونه موردمطالعه کاسته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، گونه سنبل‌الطیب، مدل حداکثر آنتروپی، مدل توزیع گونه‌ها

استناد: شعبانی، ن.، خوشبخت، م؛ و حسنی، آ. (۱۴۰۲). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*Valeriana sisymbriifolia*) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در استان اصفهان. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز* (۲)۳، ۹۸-۸۰.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

تغییرات اقلیمی به یکی از موضوعات بحث‌برانگیز در دنیای امروز تبدیل شده است. این تغییرات شامل افزایش دما، کاهش بارش، افزایش فراوانی و شدت برخی پدیده‌های طبیعی مانند سیل و خشک‌سالی است (Liu *et al*., 2021). می‌توان گفت که تغییر اقلیم و نقش متناظر آن در تأثیر بر الگوهای بارش و دما، نقش بسزایی در کنترل توزیع فضایی گیاهان و جانوران مختلف دارد (Mirhashem *et al*., 2023). در واقع بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی برای مدیریت و حفاظت پایدار مراتع امری ضروری است (Fakhimi *et al*., 2022). همچنین تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از مسائل اساسی و رو به رشد در سطح جهان، باعث تأثیرات گسترده‌ای روی زیست‌بوم و تنوع آن‌ها می‌شود. به همین دلیل پیش‌بینی می‌شود که با وقوع تغییرات اقلیمی از قبیل افزایش دما و تغییر الگوی بارش، توزیع و پراکنش گونه‌های گیاهی نیز تحت تأثیر قرار گیرد؛ بنابراین، پیش‌بینی پراکندگی جغرافیایی گونه‌ها نوعی راهبرد برای پایدار ماندن در برابر تغییرات اقلیمی است (Babaei Dehkordi *et al*., 2022).

به‌طورکلی، سناریوهای اقلیمی مختلفی در زمینه بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر پراکنش گونه‌های گیاهی مختلف وجود دارد که در مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر تغییرات اقلیم بر پراکنش گونه گیاهی سنبل‌الطیب *(Valeriana sisymbriifolia)* در استان اصفهان، از سناریوهای اقلیمی جدید شامل سناریوهای SSP[1] و RCP[2] استفاده شد. سناریوی SSP در مدل گردش عمومی GFDL-ESM4 مربوط به ترکیبی از مسیرهایی هستند که در آن اقتصاد، جمعیت و سیاست در آینده تغییر خواهند کرد. سناریوهای RCP در مدل گردش عمومی HadGEM2-CC نیز مربوط به ترکیبی از سطوح مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده هستند (NaghipourBorj *et al*., 2019).

استفاده از سناریوهای اقلیمی مانند RCP4.5 برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی در آینده بر مبنای این فرض است که تغییرات اقلیمی بر روی توزیع و فراوانی گونه‌های گیاهی تأثیر چشمگیری دارد. تغییرات دما و بارش، می‌تواند بر روی محیط‌زیست گونه‌های گیاهی تأثیرگذار باشد و منجر به تغییر در الگوهای پراکنش گونه‌های گیاهی شود. با استفاده از سناریوهای اقلیمی، محققان می‌توانند پیش‌بینی‌هایی در مورد چگونگی تغییر پراکنش گونه‌های گیاهی در آینده ارائه دهند، با فرض اینکه شرایط محیطی فعلی گونه‌ها به همان نحو در آینده ادامه پیدا کند (IPCC, 2013).

استفاده از سناریوی RCP4.5 در مطالعات مرتبط با پراکنش گونه‌های گیاهی به دلیل میانگین‌گیری بین حالت‌های مختلف تغییرات اقلیمی است. RCP4.5 یک سناریوی میانه است که نه انتظار بسیار بهبودیافته و کاهش شدید انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCP2.6) را در نظر می‌گیرد و نه حالت کاملاً بد و بدترین حالت ممکن (RCP8.5) را پیش‌بینی می‌کند. همچنین، استفاده از RCP4.5 به‌عنوان یک سناریوی میانه ممکن است به دلیل تلاش‌های جاری برای کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای و هدف‌گذاری‌های اقلیمی مانند توافقنامه پاریس باشد. این توافقنامه بر در دسترس بودن تکنولوژی‌های کاهش انتشار و تصمیمات سیاست‌گذاری برای کاهش گازهای گلخانه‌ای تأکید دارد، هر دو عاملی که در سناریوی RCP4.5 در نظر گرفته شده‌اند (IPCC, 2014). سناریوهای SSP که SSP2 یکی از آن‌هاست، سناریوهایی هستند که برای تحلیل تأثیر تغییرات اجتماعی-اقتصادی بر تغییرات اقلیمی استفاده می‌شوند. این سناریوها می‌توانند کمک کنند تا فهم بهتری از چگونگی تأثیر این تغییرات بر

1. Shared Socioeconomic Pathways

2. Representative Concentration Pathways

محیط‌زیست، بهداشت عمومی و بسیاری از جنبه‌های دیگر جامعه داشته باشیم (O'Neill BC *et al.*, 2017). SSP2 یکی از پنج سناریوی SSP است و به آن "مسیر میانه" یا "جهان قدرتمند" نیز می‌گویند. در این سناریو، تغییرات اجتماعی-اقتصادی به یک سرعت متوسط پیش می‌روند و نه بسیار بهتر و نه بسیار بدتر از وضعیت فعلی جهان است. برای مثال، فرض می‌کند که تقسیم نابرابر دارایی و فرصت‌ها ادامه پیدا می‌کند، تکنولوژی به‌سرعت معقولی پیشرفت می‌کند و جمعیت جهانی به‌طور مداوم رشد می‌کند. با استفاده از این سناریو، محققان می‌توانند پیش‌بینی‌هایی در مورد چگونگی تغییرات اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر جوامع مختلف در آینده ارائه دهند. برخی از این تأثیرات ممکن است شامل تغییرات در پراکنش گونه‌های گیاهی، تأثیرات بر بهداشت عمومی و تغییرات در منابع طبیعی باشد (Riahi *et al.*, 2017).

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر تغییرات اقلیمی بر پراکنش گونه‌های گیاهی، می‌توان از روش‌های مدل‌سازی استفاده کرد. در حال حاضر پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی و تغییرات رخ‌داده آن با استفاده از روش‌های مدل‌سازی با پیشرفت علم آمار و همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی میسر شده است (Heydari *et al.*, 2021، Momeni Damaneh *et al.*, 2023). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDMs)[1] در حال حاضر قابل‌اعتمادترین تکنیک‌هایی هستند که توسط متخصصین برای بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر توزیع جغرافیایی و گسترش دامنه گونه‌های مهاجم استفاده می‌شوند (Adhikari *et al.*, 2023). یکی از جنبه‌های مهم مدل آماری، انتخاب روش مدل‌سازی درست و بهینه است، زیرا انتخاب نادرست مدل ممکن است باعث عملکرد پیش‌بینی ضعیف شود. در واقع جامعه مدل‌سازی بوم‌شناختی علاقه قابل‌توجهی به تأثیر روش مدل‌سازی بر توانایی پیش‌بینی مدل‌های توزیع گونه‌ها نشان داده است (Gaston & Garcia, 2011). یکی از روش‌های مدل‌سازی پراکنش گیاهان، استفاده از مدل حداکثر آنتروپی است. این مدل از شرایط محیطی مثل دما، بارش و ارتفاع جغرافیایی به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند و بر اساس آن، پراکنش گیاهی پیش‌بینی می‌شود (Wu *et al.*, 2022 و Fang *et al.*, 2020)؛ لذا مدل‌سازی حداکثر آنتروپی (MaxEnt)[2] برای پیش‌بینی مناسب بودن زیستگاه گونه‌های بومی مهم ازنظر بوم‌شناختی استفاده‌شده است (Patasaraiya *et al.*, 2023). درواقع مدل MaxEnt به رایج‌ترین مدل توزیع گونه تبدیل‌شده است. مدل مذکور در تحقیقاتی در مورد طراحی ذخیره‌گاه طبیعی، بررسی گونه‌های در معرض خطر، ارزیابی خطر گونه‌های بیگانه و تأثیر تغییرات آب و هوایی استفاده‌شده است. (Tang *et al*, 2021). این مدل بر اساس تئوری حداکثر آنتروپی و بر اساس داده‌های موجود، احتمال پراکنش گونه را در محیط جدید پیش‌بینی می‌کند. در این مدل، بر اساس اطلاعاتی که از پراکنش گونه در محیط‌های مختلف در دسترس است، یک توزیع احتمال برای پراکنش گونه به دست می‌آید که بیشترین آنتروپی را دارد. بااین‌حال، برای بهترین پیش‌بینی پراکنش گونه، باید اطلاعات دقیقی در مورد ویژگی‌های بیوفیزیکی، بوم‌شناختی و محیط زیستی گونه موردنظر داشته باشیم. در این روش، به‌جای تلاش برای مدل‌سازی تمام جنبه‌های گونه و محیط زیستی، تنها از اطلاعات موجود در مورد پراکنش گونه استفاده می‌شود. در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*Valeriana sisymbriifolia*) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در استان اصفهان مورد پیش‌بینی قرار می‌گیرد. گونه سنبل‌الطیب یکی از گونه‌های مهم جنس *Valeriana* است که بومی اروپا و آسیا بوده و به‌طور سنتی و گسترده در صنایع داروسازی ایران مورداستفاده قرار می‌گیرد (Pashmforosh & Ahmadabadi, 2020).

1. Species Distribution Model

2. Maximum Entropy Model

گونه سنبل‌الطیب یک گیاه علفی است که در مناطق کوهستانی و کم‌آبی استان اصفهان در ایران یافت می‌شود. این‌گونه دارای اهمیت فراوان بوم‌شناختی است و برای خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و ضد تشنجی شناخته شده است. تاکنون تحقیقات بسیار کمی روی گونه مذکور، انجام شده است و همچنین استفاده از سناریوهای اقلیمی اعم از SSP2 و RCP4.5 به‌عنوان نوآوری در این مطالعه می‌باشند. مطالعات بسیاری در حیطه کلی این مطالعه انجام شده است. Soliman و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر پراکندگی بالقوه *Spogostylum ocyale* (Diptera: Bombyliidae) در خاورمیانه به روش MaxEnt پرداختند که عملکرد مدل رضایت‌بخش بود و توزیع پتانسیل خوبی را برای *S. ocyale* نشان داد. Gao و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی و پیش‌بینی پراکندگی جغرافیایی بالقوه *Sirex nitobei* در چین تحت تغییر اقلیم با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی پرداختند و اشاره داشتند که بارش و دما بر مناطق بالقوه مناسب تأثیر می‌گذارند. Xu و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی مدل‌سازی مبتنی بر آنتروپی حداکثر برای پیش‌بینی رویشگاه‌های مناسب بالقوه یک گیاه دارویی سنتی (*Rheum nanum*) در آسیا تحت شرایط تغییر آب‌وهوا پرداختند و آن‌ها دریافتند که Bio16 (بارش مرطوب‌ترین سه‌ماهه) و Bio1 (میانگین دمای سالانه) مهم‌ترین عوامل آب و هوایی بودند که بر توزیع *R. nanum* تأثیر گذاشتند. Ngarega و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی پیش‌بینی اثرات ویژگی‌های زیست‌اقلیمی و تغییرات آب و هوایی بر توزیع بالقوه گونه موردمطالعه در جنوب آفریقا با استفاده از حداکثر آنتروپی (MaxEnt) پرداختند. آن‌ها دریافتند که تحت سناریوهای تغییر اقلیم، مناطق زیستگاه مناسب به‌طور قابل‌توجهی در محدوده شمالی منطقه کاهش یافت. درحالی‌که در محدوده جنوبی گسترش یافتند. Coulibaly و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر توزیع *Bombax costatum Pellegr & Vuillet* در مالی، غرب آفریقا پرداختند. HamadAmin و Khwarahm (۲۰۲۳) گزارش کردند که برای مطالعه از مدل MaxEnt و فن‌های مکانی می‌توان برای موارد زیر استفاده کرد: (۱) پیش‌بینی سطح فعلی توزیع‌ها و ارزیابی تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر توزیع‌های احتمالی آینده این گونه‌ها. (۲) برآورد مناطق همپوشانی گونه‌ها و (۳) یافتن مهم‌ترین متغیرهای محیطی که توزیع آن‌ها را شکل می‌دهند.

به‌طورکلی، گیاهان از عناصر اصلی منابع طبیعی بوده و به‌واسطه نقش حفاظتی، تغذیه‌ای، دارویی و غیره بیشتر موردتوجه مردم می‌باشند که باید در حفظ آن‌ها کوشا بود. از علل روبه انقراض بودن گونه‌های باارزش مراتع می‌توان به عدم مدیریت صحیح مراتع، چرای بیش‌ازحد و زودرس، افزایش جمعیت و همچنین اثرات تغییر اقلیم اشاره کرد. به همین دلیل در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر روی یکی از گونه‌های مهم دارویی استان اصفهان بررسی شده است. هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*V.sisymbriifolia*) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در استان اصفهان است.

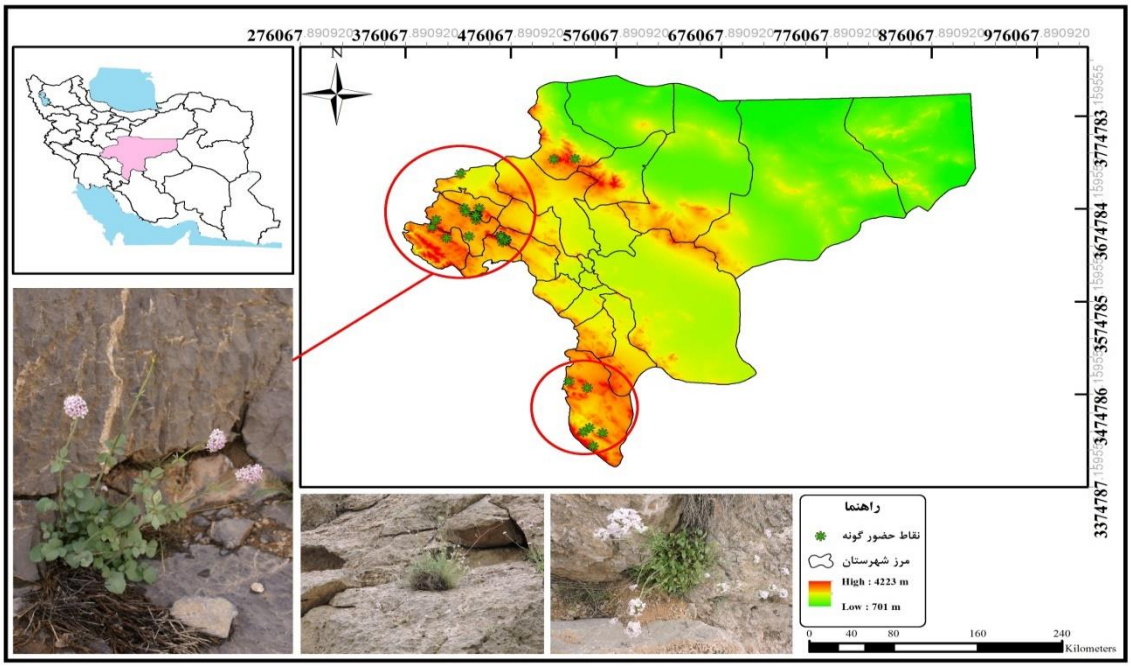
مواد و روش‌ها

محدوده موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش استان اصفهان است (شکل ۱). این استان با مساحت ۱۰۷۲۹ کیلومترمربع و داشتن ۶/۶ درصد از مساحت کل کشور در بخش مرکزی ایران قرار دارد و این استان بین عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی واقع شده است. استان اصفهان در مرکز فلات ایران قرار دارد که ارتفاع متوسط آن از نقشه‌های رقومی ارتفاعی بیانگر حدود ۱۶۰۵ متر است و اغلب ارتفاعات دارای جهت شمال غربی، جنوب

شرقی است. همچنین تغییرات شدید ارتفاع از سطح دریا بین ۷۰۰ متر در شهرستان نائین تا بیش از ۴۰۰۰ متر در شهرستان فریدون‌شهر باعث ایجاد اقلیم مختلف در استان شده است. متوسط بارش سالیانه استان ۱۶۰ میلی‌متر و متوسط بارش شهر اصفهان ۱۲۰ میلی‌متر است (Mehdizadeh *et al*., 2023).

بر اساس بررسی‌های بلندمدت آماری ۲۰۱۵-۱۹۵۱ میانگین سالانه دمای ایستگاه اصفهان ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دما در سردترین ماه سال (ژانویه) ۳ درجه سانتی‌گراد و در گرم‌ترین ماه سال (جولای) ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد است. تعداد روزهای یخبندان ایستگاه اصفهان به‌طور متوسط ۷۲ روز در سال است که بیشترین آن در فصل زمستان، به میزان ۴۵ روز و ۲۷ روز هم در پاییز اتفاق می‌افتد. میانگین ماهانه رطوبت نسبی هوا در اصفهان طبق آمار بلندمدت (۲۰۱۵-۱۹۵۱) در ایستگاه اصفهان ۳۸/۷ درصد است. میانگین حداقل رطوبت نسبی تقریباً ۲۳ درصد و میانگین حداکثر آن ۵۷/۶ درصد است. طبیعی است که در ماه‌های بارانی و سرد سال میزان نم نسبی کم‌وبیش بالا و برعکس در ماه‌های گرم و خشک میزان آن، بسیار کم است. بر طبق منحنی آمبروترمیک، طول دوره خشکی ایستگاه اصفهان از اواسط ماه مارس (اواخر اسفند) تا اوایل ماه نوامبر (اوایل آبان) است؛ یعنی تقریباً بین ۶ تا ۷ ماه از سال میزان دما بیشتر از مقدار بارش بوده که تحت عنوان دوره خشکی مطرح می‌شود (Suleimany, 2023).



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه موردمطالعه (استان اصفهان) به همراه گونه سنبل‌الطیب

Figure 1- The location of the study area (Isfahan province) and *V. sisymbriifolia*

گونه موردمطالعه

گونه *V.sisymbriifolia* یا سنبل‌الطیب کوهی یکی از شش گونه جنس سنبل‌الطیب در ایران است که ریشه آن دارای مواد ارزشمندی است (Chegini *et al*., 2020). عصاره این گیاه حاوی ترکیبات دارویی مختلفی شامل روغن‌های فرار، آلکالوئیدها و اسیدهای آمینه آزاد است. همچنین خواص دارویی ازجمله آرام بخشی، ضد اسپاسم، ضد اضطراب، ضد تشنج و ضد باکتری برای این گزارش‌شده است (Pashmforosh & Ahmadabadi, 2020) این‌گونه ازجمله گیاهان دارویی و با وسعت کم کشور است که گونه‌ای نزدیک به تهدید است و نیاز است که زیستگاه این‌گونه ارزیابی شود (Khoshbakht, 2013). این گیاه چندساله با ریزوم ضخیم و ساقه‌ای به ارتفاع ۷ تا ۷۸ سانتی‌متر، برگ‌های

قاعده‌ای شانه‌ای فرد به طول ۴ تا ۲۹ سانتی‌متر و برگ‌های بالایی شانه‌ای فرد، کوچک با لوب‌های باریک از مشخصات این گونه است. پراکندگی این گونه در استان اصفهان را می‌توان در سمیرم، مسیر پادنا به سی‌سخت، گردنه بیژن و فریدون‌شهر مشاهده کرد. این گیاه متعلق به مناطق خزری، ایران و تورانی و زاگرسی است که بر روی تشکیلات آهکی ریزدانه سفیدرنگ (سازند ایلام) مربوط به دوران مزوزوئیک رشد و نمو می‌یابد و فصل گل‌دهی و میوه‌دهی آن از اواسط بهار تا اواسط تابستان است (شکل ۲) (Khoshbakht, 2013).

شکل ۲- تصویری از گونه *V. sisymbriifolia*
Figure 2- Image of *V. sisymbriifolium* species

گردآوری داده‌ها

داده‌های زیستی

داده‌های زیستی شامل نقاط ثبت‌شده‌ای است که به‌وسیله مختصات طول و عرض جغرافیایی مشخص می‌شود و بیانگر رخداد و یا پراکنش جغرافیایی گونه موردنظر است. بعد از پردازش‌های اولیه تعداد ۵۰ نقطه حضور گونه از مناطق مختلف اصفهان در ماه اردیبهشت ۱۴۰۱ به روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده به‌وسیله دستگاه GPS ثبت گردید و به‌صورت طول و عرض جغرافیایی وارد محیط Excel شد و به فرمت موردنیاز برای ورود به مدل‌ها تبدیل گردید.

داده‌های محیطی

داده‌های محیطی بیانگر خصوصیات محیطی و دامنه تغییرات آن‌ها در منطقه موردمطالعه است. این متغیرها با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی داده‌های هواشناسی Worldclim و IPCC، در سه مقطع ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ اخذ شد که شامل ۱۹ متغیر بایوکلیماتیک است که بر اساس داده‌های حداقل و حداکثر دما و میانگین بارش ماهانه به دست می‌آیند که پس از جمع‌آوری با استفاده از روش‌های دقیقی آن‌ها را برای کل جهان درون‌یابی کرده‌اند. همچنین لایه‌های فیزیوگرافی دربرگیرنده مجموعه‌ای از نقشه‌های پایه محیطی است که این نقشه‌ها را می‌توان از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه کرد. از بین ۱۹ متغیر اقلیمی با در نظر گرفتن میزان همبستگی داده‌های محیطی و اثرات اکولوژیک آن‌ها مناسب‌ترین متغیرها برای ورود به فرآیند مدل‌سازی نهایی در منطقه موردنظر انتخاب گردیدند. در واقع بر طبق آنالیز مشارکت مهم‌ترین

متغیرهای سهیم در فرآیند مدل‌سازی شامل bio12 (بارندگی سردترین فصل سال)، bio10 (میانگین درجه حرارت گرم‌ترین فصل سال)، bio1 (میانگین درجه حرارت سالیانه)، bio8 (میانگین درجه حرارت مرطوب‌ترین فصل سال)، bio16 (بارندگی مرطوب‌ترین فصل سال) و سایر متغیرها با مشارکت کمتر از ۱ درصد به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای دخیل در فرایند مدل‌سازی شناخته شدند. طبق بررسی‌های انجام‌شده بر روی متغیرهای اقلیمی (Bio1-19) در سه دوره زمانی مشخص گردید که در سال ۲۰۲۰ بیشترین و کمترین میزان بارش سالانه (bio12) به ترتیب برابر با ۳۷۲ و ۵۸ میلی‌متر بود. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین درجه حرارت سالیانه (bio1) به ترتیب برابر با ۲۰/۹ و ۱/۸ درجه سانتی‌گراد بود. در واقع می‌توان گفت bio12 (بارندگی سالیانه) در مقایسه بین سه دوره زمانی بدین شکل است که برای سال ۲۰۲۰ دارای میانگین ۲۱۲/۵ میلی‌متر، سال ۲۰۵۰ برابر ۱۴۰/۵ میلی‌متر و همچنین برای سال ۲۱۰۰ برابر ۱۱۸/۵ میلی‌متر است؛ همان‌طور که مشخص است طی این دوره‌های زمانی، بارش سالیانه کاهشی و دما افزایشی است. هر دو سناریوی SSP 2 و RCP 4.5 چنین روندی را نشان می‌دهند.

سناریوهای اقلیمی

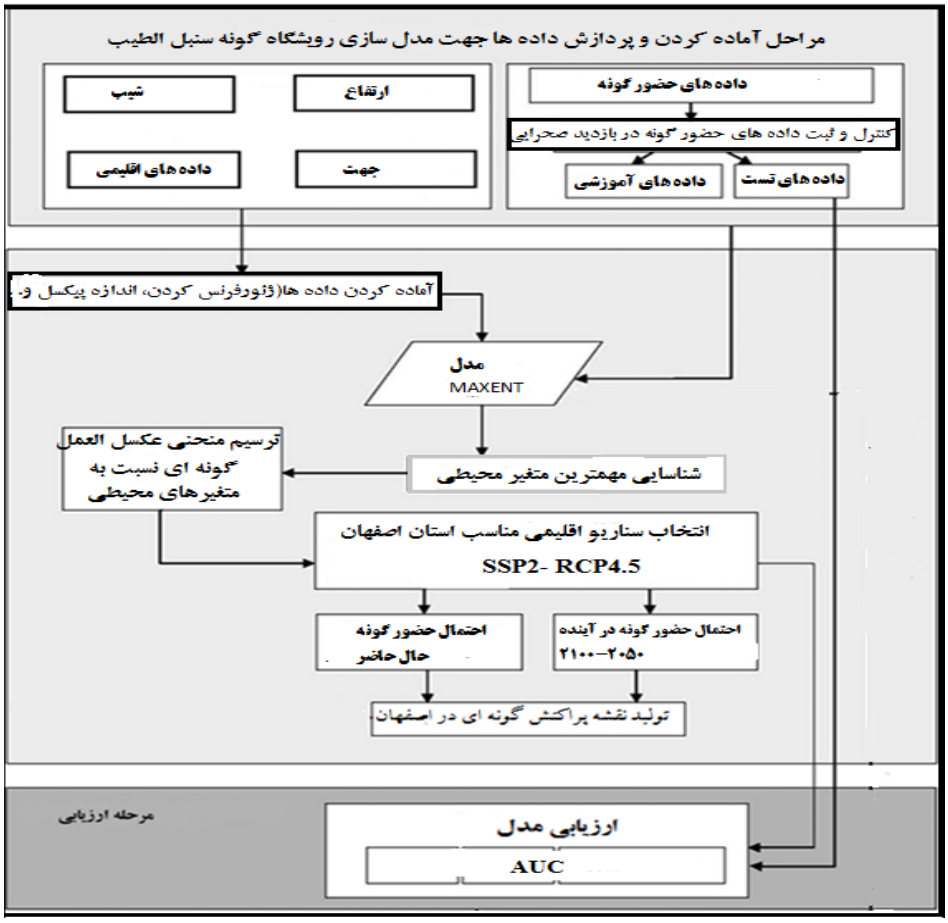
با استفاده از سناریوهای SSP2 و RCP4.5 می‌توان بررسی کرد که در شرایط این سناریوها، اثرات تغییرات اقلیمی چگونه بر پراکنش گونه گیاهی سنبل‌الطیب در استان اصفهان تأثیر می‌گذارد. در این راستا، مدل حداکثر آنتروپی نیز به‌عنوان ابزاری مناسب برای پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی بر پراکنش گونه گیاهی مورداستفاده قرار گرفت. برای مطالعه پیش‌بینی اثر تغییرات اقلیمی بر پراکنش گونه گیاهی سنبل‌الطیب در استان اصفهان با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و در دوره‌های زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰، دو سناریو SSP2 و RCP4.5 مورداستفاده قرار گرفت. در واقع سناریوی SSP2 یک سناریوی متوسط است که در آن میزان رشد اقتصاد جهانی متوسط است و نرخ جمعیت بین‌المللی کاهش می‌یابد. در این سناریو، بیشترین توجه به پایداری و توسعه پایدار جهانی شده است و هیچ کشوری به‌صورت منحصربه‌فرد درحالی‌که انحصاری هدف اقتصادی را دنبال نمی‌کند، بیش از دیگر کشورها پیشرفت نمی‌کند. در این سناریو، به توسعه صنعتی، محیط‌زیست و کنترل آلودگی‌ها در کشورهای درحال‌توسعه نیز توجه خواهد شد (Canturk & Kulaç. 2021). همچنین سناریوی RCP4.5، سناریویی است که با فرض کاهش نرخ رشد جمعیت و کاهش نرخ تولید دی‌اکسید کربن ایجاد شده است. در این سناریو، محدودیت‌های انرژی واقعیت شده و دولت‌ها سعی می‌کنند برای مقابله با تغییرات اقلیمی، مصرف انرژی پاک را افزایش دهند و طرح‌های برق خورشیدی و بادی را توسعه دهند (Qi *et al.*, 2022). می‌توان گفت که دلیل استفاده از این سناریوها در این مطالعه کمتر استفاده شدن آن‌ها در سایر مطالعات است. به‌خصوص سناریو اقلیمی RCP4.5 برای این گونه به‌نوعی تازگی دارد.

مدل مورداستفاده

بعد از تعریف سناریوهای SSP2 و RCP4.5، مدل حداکثر آنتروپی به‌عنوان ابزار پیش‌بینی پراکنش گونه سنبل‌الطیب استفاده شد.

در این مطالعه، ابتدا مقادیر متغیرهای محیطی دما و بارش مورد پیش‌بینی برای دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ گردآوری شد. سپس با استفاده از این داده‌ها و مدل MaxEnt، پراکنش گونه سنبل‌الطیب در استان اصفهان با سناریوهای SSP2 و RCP4.5 پیش‌بینی شد. به‌طوری‌که به‌منظور مدل‌سازی پراکنش گونه سنبل‌الطیب از تعداد ۵۰ نقطه حضور به همراه عوامل محیطی شامل ۱۴ متغیر اقلیمی (مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی در آنالیز مشارکت، از بین ۱۹ متغیر اقلیمی) و ۳ متغیر فیزیوگرافی به‌عنوان ورودی مدل استفاده شد. میزان ۷۰ درصد از داده‌ها به‌عنوان داده‌های کالیبراسیون و ۳۰ درصد باقی‌مانده به‌عنوان داده‌های

ارزیابی وارد مدل شدند. لایه‌های محیطی با استفاده از نرم‌افزار Arc Map به فرمت موردنظر (ASCII) تبدیل شدند. در فرآیند مدل‌سازی، روش Sub Sample، حالت Auto Feature انتخاب شد و ۱۵ اجرا و ۵۰۰۰ تکرار انتخاب گردید. نوع نقشه خروجی مدل لجستیک انتخاب شد و سپس نقشه میانگین تولیدشده توسط نرم‌افزار MaxEnt، به‌منظور تحلیل و بررسی پیش‌بینی‌ها انتخاب و به نرم‌افزار Arc Map فراخوانده شد. جهت تولید نقشه‌های تغییر اقلیم نیز داده‌های اقلیمی سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ اخذشده به محیط نرم‌افزار فراخوانده شد و نقشه پیش‌بینی گونه موردنظر برای آینده تهیه گردید (شکل ۳).



شکل ۳- مراحل روش کار

Figure 3- Materials and methods steps

نتایج

نتایج حاصل از سناریوی RPC 4.5

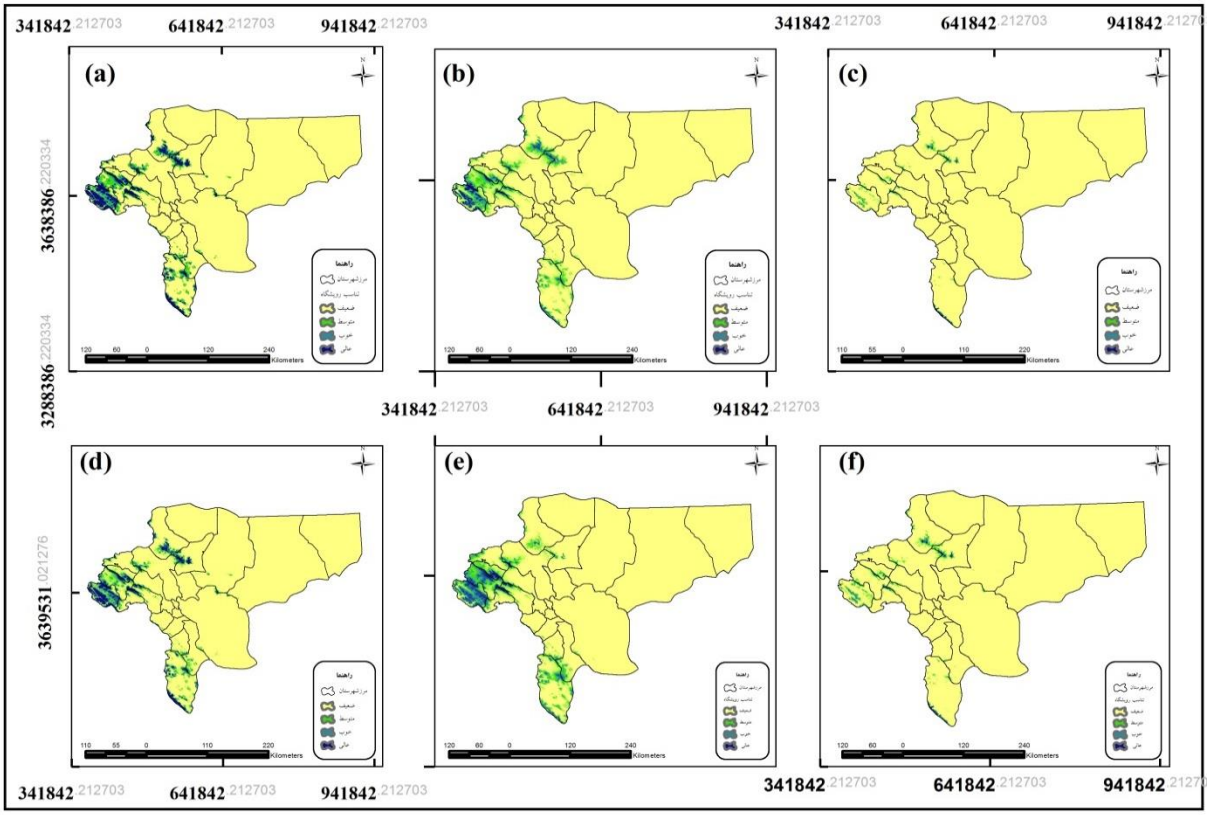
در شکل ۴ تصاویر a، b و c به ترتیب روند تغییرات مساحت اشغال‌شده توسط گونه سنبل‌الطیب را تحت سناریوی RCP4.5 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۱ نیز مشخص است، مدل حداکثر آنتروپی پیش‌بینی می‌کند که حدود ۵۰ درصد از تناسب رویشگاه‌های عالی گونه موردمطالعه تا سال ۲۱۰۰ کاسته خواهد شد. به‌گونه‌ای که طبقه عالی از ۳/۰۷ درصد به ۰/۰۴۷ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

نتایج حاصل از سناریوی SSP2

طی بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه موردمطالعه تحت سناریوی SSP2، شکل ۴ تصاویر d، e و f به ترتیب روند تغییرات مساحت اشغال‌شده توسط گونه سنبل‌الطیب را تحت سناریوی SSP2 در سال‌های

۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ نشان می‌دهد. طبق نتایج مدل MaxEnt پیش‌بینی می‌کند که وسعت گونه سنبل‌الطیب در طی سال‌های موردبررسی با توجه به فاکتورهای موردنظر رو به کاهش است به‌طوری‌که پراکنش این‌گونه در طبقه عالی برای زمان ۲۰۲۰، ۳/۷۴ درصد از استان اصفهان را در برگرفته است و در سال ۲۰۵۰ این وسعت پراکنش به ۱/۵۴۴ درصد از وسعت استان می‌رسد و در سال ۲۱۰۰ نیز مقدار پراکنش گونه برابر ۰/۱۵۵ درصد است (جدول ۲). همچنین با توجه به نقشه‌های خروجی ارزش‌های ارتفاعی پراکنش گونه به سمت مناطق مرتفع‌تر پیش رفته است. در اشکال مربوطه قسمت‌های تیره بیان‌گر حضور بالای گونه است (شکل ۴).

جهت درک بهتر از روند تغییر اقلیم نقشه‌های پراکنش گونه‌ای به چهار کلاس طبقه‌بندی شدند (جداول ۱ و ۲) که هر طبقه با توجه به ارزش آن دارای وسعت متفاوتی است و می‌توان روند کاهش وسعت گونه موردنظر را تحت تأثیر تغییر اقلیم بهتر درک کرد (Elith *et al.*, 2010). با توجه به جداول می‌توان به این موضوع پی برد که طبقه چهار نقشه موردنظر که جایگاه تناسب عالی است طی سال‌های متوالی از میزان ۳ درصد به میزانی کمتر از ۱ درصد در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. سناریوی SSP2 نسبت به سناریوی RCP 4.5 تناسب رویشگاه مناسب را در سال ۲۱۰۰ بیشتر نشان داده و در واقع تحت این سناریو رویشگاه گونه مقداری کمتر از بین رفته است.



شکل ۴- نقشه‌های خروجی از مدل MaxEnt در پیش‌بینی پراکنش گونه *V. sisymbriifolia* تحت تأثیر تغییرات اقلیمی a) پراکنش گونه در سال ۲۰۲۰، b) پراکنش گونه در سال ۲۰۵۰، c) پراکنش گونه در سال ۲۱۰۰ (تحت سناریوی RCP4.5)، d) پراکنش گونه در سال ۲۰۲۰، e) پراکنش گونه در سال ۲۰۵۰، f) پراکنش گونه در سال ۲۱۰۰ (تحت سناریوی SSP2)

Figure 4- Output maps from the MaxEnt model in predicting the distribution of *V. sisymbriifolia* under the influence of climate change

a) Species distribution in 2020, b) Species distribution in 2050, C) Species distribution in 2100 (under RCP4.5 scenario), d) Species distribution in 2020, e) Species distribution in 2050, f) Species distribution in the year 2100 (under the SSP2 scenario)

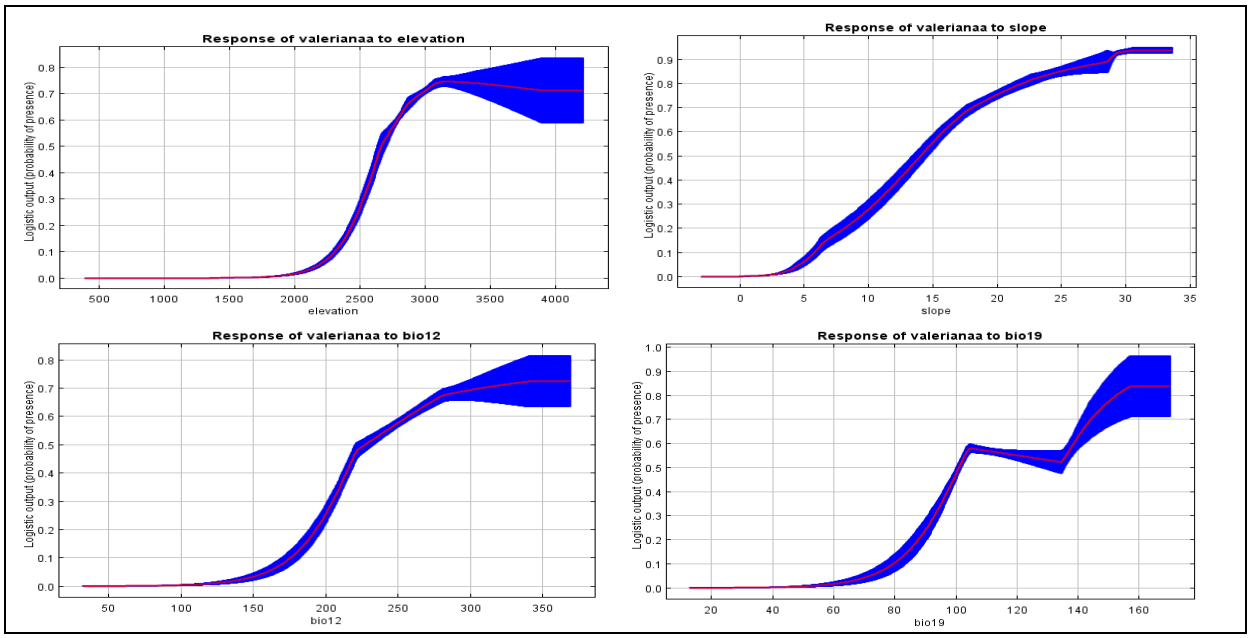
جدول ۱- طبقه‌بندی و درصد مساحت پراکنش گونه *V. sisymbriifolia* بر اساس شایستگی حضور گونه تحت سناریو RCP4.5
Table1- Classification and distribution area percentage of *V.sisymbriifolium* species under RCP4.5 scenario

طبقه‌بندی رویشگاه	تناسب رویشگاه	درصد مساحت تناسب رویشگاه 2020	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال 2050	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال 2100
طبقه یک (0-0.25)	نامناسب	92.14	95.70	99.0
طبقه دو (0.25-0.5)	ضعیف	3.44	3.68	0.655
طبقه سه (0.5-0.75)	مناسب	1.45	1.22	0.432
طبقه چهار (0.75-1)	عالی	3.07	1.16	0.047

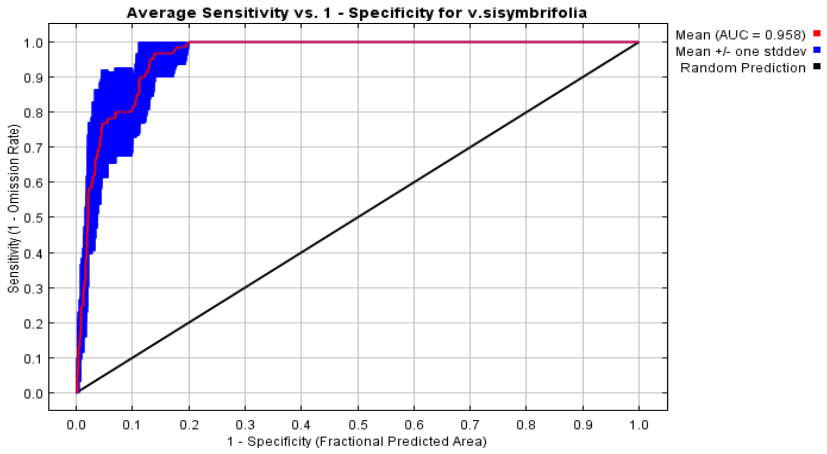
جدول ۲- طبقه‌بندی و درصد مساحت گونه *V. sisymbriifolia* رویشگاه بر اساس شایستگی حضور گونه تحت سناریوی SSP2
Table2- Classification and area percentage of *V. sisymbriifolium* species under SSP2 scenario

طبقه‌بندی رویشگاه	تناسب رویشگاه	درصد مساحت تناسب رویشگاه 2020	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال 2050	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال 2100
طبقه یک (0-0.25)	نامناسب	91.91	96.54	99.33
طبقه دو (0.25-0.5)	ضعیف	1.912	1.056	0.4
طبقه سه (0.5-0.75)	مناسب	1.624	0.747	0.308
طبقه چهار (0.75-1)	عالی	3.47	1.544	0.155

همچنین در بررسی مهم‌ترین متغیرهایی که بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب تأثیر دارند، می‌توان گفت که چهار متغیر (شیب، بارندگی سردترین فصل سال، بارندگی سالیانه و ارتفاع) (شکل ۵)، بیش از ۸۰ درصد پراکنش گونه سنبل‌الطیب را در استان توجیه می‌کنند و همچنین با توجه به ارزش اهمیت جای‌گشتی بر اساس آنالیز حساسیت بیش‌ترین مقدار کاهش AUC در صورت جایگزینی با داده‌های مربوط به شیب باارزش اهمیت جای‌گشتی برابر ۳۴/۹ است (شکل ۶).



شکل ۵- منحنی‌های پاسخ گونه *V. sisymbriifolia* نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار
Figure 5- Response curves of *V. sisymbriifolium* to the most important influencing environmental variables



شکل ۶- منحنی ROC و مقدار مساحت زیر منحنی (AUC)

Figure 6- ROC curve and the value of the area under the curve (AUC)

بحث

نتایج مطالعه نشان داد که در سناریوی SSP2، پراکنش گونه سنبل‌الطیب در طول دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ با افزایش دما و کاهش بارش، کاهش خواهد یافت. همچنین در سناریوی RCP4.5، با افزایش دما و کاهش بارش، پراکنش گونه سنبل‌الطیب در طول دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ کاهش خواهد یافت یا در برخی مناطق ممکن است این‌گونه از بین برود. در واقع سناریوی RCP 4.5 بر اساس پایین بودن سطح گازهای گلخانه‌ای میانی (دی‌اکسید کربن، متان، نیتروژن اکسید و غیره) در دهه‌های آینده توسط جوامع بین‌المللی برای تعدیل تغییرات اقلیمی انتخاب شده است. در این سناریو، درصد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن معادل با ۵۴۰ppm در سال ۲۱۰۰ خواهد بود. بر اساس مدل‌های اقلیمی، این سناریو در دهه‌های آینده به گرم شدن جهان در مقایسه با دوره پیش از صنعت انقلاب صنعتی منجر خواهد شد (Rezayi Zaman *et al.*, 2023، Ahmadi & Mustafavi, 2022). سناریو RCP4.5، حالت میانه‌ای را نشان می‌دهد که برخلاف سناریوهای بیشتری که تغییرات اقلیمی را نادیده می‌گیرند، تلاش‌های معقولی را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر می‌گیرد؛ اما باید توجه داشت که حتی در این سناریو، تغییرات اقلیمی همچنان ادامه دارد و تغییرات قابل‌توجهی در دما و الگوهای بارش را به همراه دارد. گونه‌های گیاهی به‌طور خاص به شرایط محیطی خود وابسته هستند و حتی تغییرات نسبتاً کوچک در دما یا بارش ممکن است تأثیر قابل‌توجهی بر پراکنش آن‌ها داشته باشد. به‌عنوان‌مثال، گونه‌هایی که به شرایط خاصی از دما یا بارش وابسته‌اند، ممکن است در محیط جدید نتوانند بقا داشته باشند. این حالت ممکن است منجر به کاهش گستردگی جغرافیایی یا تنوع ژنتیکی گونه شود؛ بنابراین، حتی اگر سناریوی RCP4.5 تلاش‌های موفقیت‌آمیزی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد، باید توجه داشت که تغییرات اقلیمی همچنان ممکن است تأثیرات منفی بر روی برخی گونه‌های گیاهی داشته باشد. در مورد گونه موردمطالعه نیز چنین روندی مشاهده شده است. می‌توان از این قضیه نتیجه گرفت که گونه سنبل‌الطیب گونه بسیار حساسی است. در مورد سناریوی SSP2 نیز چنین است. سناریوی SSP2، بااینکه تغییرات میانه را در نظر می‌گیرد، همچنان تغییرات قابل‌توجهی در اقلیم و شرایط اجتماعی-اقتصادی را پیش‌بینی می‌کند. هرگونه گیاهی خاص به شرایط محیطی خاصی وابسته است و حتی تغییرات نسبتاً کوچک در این شرایط ممکن است تأثیر قابل‌توجهی بر پراکنش و بقای آن گونه داشته باشد (Fricko, 2017). به‌عنوان‌مثال، اگر یک گونه به دماهای خنک و بازه مشخصی از بارش وابسته باشد،

افزایش دما و تغییرات در الگوهای بارش، حتی در یک سناریوی میانه مانند SSP2، ممکن است منجر به کاهش پراکنش یا بقای آن گونه شود. همچنین، تغییرات در استفاده از زمین، مانند توسعه شهری یا تغییرات در روش‌های کشاورزی می‌تواند تأثیرات مهمی بر گونه‌های گیاهی داشته باشد (Riahi *et al.*, 2017). سناریوی SSP2، خود به‌تنهایی تغییرات خاصی در دما یا بارش را مشخص نمی‌کند. به‌جای آن، این سناریو شامل تغییرات مختلف اجتماعی-اقتصادی می‌شود که می‌تواند بر تغییرات اقلیمی تأثیر بگذارد. تغییرات خاص در دما یا بارش، بستگی به این دارد که چه نوع مدل اقلیمی با SSP2 ترکیب شود. لذا، حتی با یک سناریوی میانه مانند SSP2، ممکن است برخی از گونه‌های گیاهی کاهش یا تغییرات قابل‌توجهی در پراکنش خود تجربه کنند. برای درک بهتر این تأثیرات، تحلیل‌های دقیق‌تر و مدل‌هایی که عوامل مختلف محیطی و بوم‌شناختی را در نظر می‌گیرند، ممکن است موردنیاز باشد. لذا اگر این دو سناریو می‌توانند باهم ترکیب شوند یک تصویر کامل‌تر از تغییرات اقلیمی محتمل و تأثیرات اجتماعی-اقتصادی آن‌ها ارائه می‌دهند.

طبق نتایج به‌دست‌آمده پیش‌بینی‌ها نشان دادند که پراکنش این گونه در نواحی کم ارتفاع و با بارندگی کمتر به دلیل افزایش دما و کاهش بارندگی کاهش می‌یابد. همچنین، تغییرات در دما و بارندگی منجر به تغییرات در نیروی محرکه زندگی (شدت رشد و بلوغ گیاه) شده و بنابراین توزیع و پراکنش گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به نقشه‌های خروجی از مدل MaxEnt و همچنین با توجه به تأثیر متغیرهای مهم در این فرایند می‌توان به این نتیجه رسید که پراکنش گونه موردنظر تحت تأثیر تغییر اقلیم طی سال‌های متوالی رو به کاهش است.

به‌علاوه با توجه به منحنی‌های عکس‌العمل گونه از نظر فیزیوگرافی هرچه شیب و ارتفاع در منطقه موردنظر افزایش یابد مقدار پراکنش گونه سنبل‌الطیب نیز افزایش می‌یابد و با توجه به مشاهدات میدانی می‌توان گفت که گونه موردنظر در شیب و ارتفاعات بسیار بالا مشاهده می‌شود به‌طوری‌که در هنگام برداشت نمونه گونه موردنظر تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری حضور داشت و علت این امر را می‌توان به دلیل داشتن ریشه‌های قوی گیاه دانست که توان زادآوری در شرایط سنگلاخی را ایجاد می‌کند و از طرف دیگر به دلیل اینکه گونه‌های دیگر تحمل شرایط مشابه را ندارند حضور آن‌ها کم می‌شود و رقابت برای گونه سنبل‌الطیب کاهش می‌یابد. منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به تغییرات بارندگی نیز نشان می‌دهد که هرچه بارش سالیانه و بارندگی در ماه‌های سرد زیاد شود احتمال حضور گونه نیز زیاد می‌شود به‌طوری‌که هرچه بارش سالیانه از ۲۵۰ میلی‌متر بیشتر گردد احتمال رخداد افزایش می‌یابد. در ارزیابی مدل MaxEnt با استفاده از نمودار ROC سطح زیر منحنی برابر با ۰/۹۵ است که طبق طبقه‌بندی SWEET جز مدل‌های بسیار خوب طبقه‌بندی می‌شود.

همان‌طور که متغیرهای مهم قابل‌رؤیت هستند می‌توان به این نکته پی برد که پستی‌وبلندی‌ها به‌خصوص تغییرات ارتفاع و شیب می‌توانند بسیاری از عوامل محیطی را تغییر دهند و در ایجاد رویشگاه و همچنین پراکنش گونه موردنظر نقش مهمی ایفا کنند به‌طوری‌که نقش این دو عامل در حضور یا حذف گونه‌های گیاهی بسیار بارز است. بررسی منحنی‌های پاسخ گونه در طبقات ارتفاعی مختلف روند منظمی را نشان داد؛ به‌طوری‌که به سمت ارتفاعات بالاتر روند صعودی داشته و تصور می‌شود با توجه به شرایط سخت محیطی در ارتفاعات پایینی (نزدیکی به جاده، فشار چرای دام و...) منطقه موردمطالعه، گونه‌های گیاهی به‌منظور حفظ بقا، خود را در طول زمان به ارتفاعات بالاتر که محیطی امن محسوب می‌شود، رسانده‌اند و باعث افزایش حضور گونه‌ای شده‌اند.

در این راستا،Santos و همکاران (2007) در تحقیق خود بیان داشت پراکنش جغرافیایی تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی در محیط‌های کوهستانی مرتفع در ارتباط نزدیک با توپوگرافی است؛ بنابراین پارامترهای مربوط به فرم زمین مثل ارتفاع، از پارامترهای مهم ورودی برای آنالیز مکانی و مدل‌سازی پراکنش پوشش گیاهی در چشم‌اندازهای کوهستانی می‌باشند.

عامل ارتفاع از سطح دریا به دلیل تأثیر در اقلیم منطقه بر پراکنش گونه‌های گیاهی نقش مؤثری دارد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، متوسط دمای هوا کاهش یافته و با توجه به سایر عوامل اقلیمی منجر به تشکیل نواحی اقلیمی شده، درنتیجه نواحی گیاهی با تنوع گونه‌ای خاص ایجاد می‌شود (Solow & Polasky, 1994). تغییر ارتفاع در شیب‌های مختلف از نظر زاویه و جهت عواملی هستند که جوامع گیاهی را در اکوسیستم‌ها ایجاد می‌کنند. توپوگرافی با دگرگون نمودن اقلیم ناحیه‌ای از یک‌سو سبب افزایش دما و تسریع تبخیر و تعرق در شیب‌های رو به جنوب و از سوی دیگر سبب کاهش فرایندهای ذکرشده در شیب‌های رو به شمال (در نیمکره شمالی) شده، همین امر سبب می‌شود که شیب‌های رو به شمال پوشش گیاهی متراکم‌تر داشته باشد (Del Barrio *et al.*, 1997). همچنین Abolmaali (2014) به این نتیجه رسید که احتمال رخداد گونه‌های موردمطالعه در ارتفاعات بالاتر به دلیل افزایش بارندگی و رطوبت خاک و کاهش دما در طول گرادیان ارتفاعی افزایش می‌یابد. با توجه به حساسیت طبقه ارتفاعی پایین نسبت به طبقات ارتفاعی دیگر که بیشتر در معرض تخریب و کاهش تراکم و تنوع گونه‌ای است، باید با اصلاح راهکارهای موجود و شناسایی گونه‌های مناسب این طبقه ارتفاعی، در جهت مدیریت اصولی و بهینه آن اقدامات جدی صورت بگیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در راستای احیای توده‌های تنک و با تنوع گونه‌ای کمتر در منطقه، شرایط رویشگاهی ارتفاعات مختلف از سطح دریا مطالعه شده و گونه‌های مناسب برای هر منطقه انتخاب شوند تا در تمام ارتفاعات، توده‌های متراکم و با تنوع گونه‌ای مناسب استقرار یابند. باید خاطرنشان کرد که روش‌های مطالعه پراکنش گونه‌ای در اکوسیستم زمانی مفید و سودمند است که در راستای اهداف شناخته‌شده مدیریت باشد. آنچه مسلم است به لحاظ پیچیدگی و تنوع خصوصیات اکولوژیک در هر منطقهٔ پوشش، نمی‌توان نتایج به‌دست‌آمده در هر مطالعه را به تمامی مطالعات دیگر مرتبط دانست؛ بنابراین این پژوهش فقط مدعی این است که در منطقهٔ موردپژوهش تغییرات پراکنش در رابطه با تغییرات ارتفاع و شیب معنی‌دار است، به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع از سطح دریا پراکنش گونه‌ای افزایش می‌یابد. بدیهی است ضرورت مطالعات متعدد و موردی ازاین‌دست، بهترین راهکار برای نیل به مدیریت بهینه در حفظ رویشگاه‌ها است. به‌طورکلی گیاهان مرتعی در مقایسه با درختان نسبت به کنش متقابل دما و بارندگی حساس‌ترند، زیرا بسیاری از گونه‌های چوبی با برخورداری از ریشه‌های عمیق از رطوبت ذخیره‌شده در اعماق خاک استفاده می‌کنند و مستقل از زمان وقوع باران به رشد خود ادامه می‌دهند و در فصل خاصی به گل می‌نشینند. Akbari (2011) عوامل متوسط بارش سالانه، متوسط حداقل درجه حرارت روزانه و متوسط درجه حرارت سالانه را از عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌ها بیان کرده است. نقشه‌های حاصل از مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای نیز علاوه بر تعیین عوامل مؤثر در پراکنش گونه گیاهی، دامنه پراکنش جغرافیایی آن گونه را نیز نمایش می‌دهند و می‌توانند فرضیات جدید بوم‌شناختی را جهت تحقیقات آینده فراهم کنند. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های مدل‌سازی پراکنش، قابلیت بالایی در تهیه نقشه پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی در منطقه موردمطالعه دارد. مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه موردبررسی در این تحقیق بر اساس ویژگی‌های اکولوژیک می‌تواند گامی مثبت در حفاظت و احیاء این گونه باشد که از نظر دارویی، صنعتی دارای ارزش

زیادی است. با تکیه‌بر نتایج مدل‌های به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان رویشگاه‌های دارای پتانسیل کشت گونه موردبررسی را شناسایی و برنامه حفاظت و انتقال این‌گونه به این مناطق را با هدف ازدیاد در محیط طبیعی سبب‌ساز شد. گونه سنبل‌الطیب نیز از نظر ارزش دارویی، غذایی و همچنین حفاظتی دارای اهمیت ویژه‌ای است و به همین دلیل اقدام به تهیه نقشه گونه موردنظر شده است تا بتوان مناطق مستعد جهت احیا را توسعه داد. جهت دستیابی به توسعهٔ پایدار و همچنین حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی و تنوع زیستی آن‌ها لازم است نقش عوامل بوم‌شناختی و تأثیر آن‌ها بر تنوع گونه‌های گیاهی مورد ارزیابی قرار گیرد که مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی می‌توانند آشیان اکولوژیک یا رویشگاه بالقوه گونه را نشان دهند ولی به دلیل عدم استفاده از سایر فاکتورهای مؤثر در پراکنش گونه‌ای در مدل همچون عوامل بیولوژیکی (رقابت، همزیستی و...)، عوامل انسانی (جاده‌سازی و...) و مدیریتی (چرای دام، آتش‌سوزی و...) امکان تعیین رویشگاه بالفعل گونه میسر نیست. رویشگاه مناسب گونه سنبل‌الطیب در استان اصفهان با توجه به منحنی‌های عکس‌العمل گونه‌ای در مناطقی با بارندگی سالانه بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع بیش از ۲۷۰۰ متر، شیب‌های بیش از ۱۵ درجه و همچنین میانگین دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به این شرایط می‌توان گفت که گذر از این حدود سبب حذف تدریجی گونه مذکور خواهد شد.

نتیجه‌گیری کلی

در پایان، به‌طور خلاصه می‌توان گفت که بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر پراکنش گونه‌های گیاهی مهم و آرایش جمعیتی آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مورد گونه گیاهی سنبل‌الطیب نیز نشان داده شده که تغییرات اقلیمی می‌تواند تأثیر زیادی بر پراکنش این‌گونه داشته باشد.

در واقع می‌توان گفت مراتع ایران در وضعیت خوبی به سر نمی‌برند به‌گونه‌ای که قسمت اعظم مراتع، در شرایطی است که نیاز به اصلاح دارد، بسیاری از مراتع هم از لحاظ پوشش گیاهی آن‌چنان فقیر شده است که دیگر قابل بهره‌برداری نیست و باید قرق و به‌کلی، احیا شود. سطح وسیعی از مراتع نیز وجود دارند که به‌منظور استفاده در دیگر زمینه‌ها، یا مجاز به استفاده از آن‌ها به‌صورت مرتع نیستیم (مراتعی که طبق قانون برای حفاظت از محیط‌زیست، اجرای برنامه آبخیزداری و غیره به سازمان‌های مربوط واگذارشده است) و یا به‌طورکلی تخریب‌شده است (سطح‌های که به شهرها و مراکز صنعتی و غیره تبدیل‌شده است). با تکیه‌بر نتایج مدل‌های به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان رویشگاه‌های دارای پتانسیل کشت گونه موردبررسی را شناسایی و برنامه حفاظت و انتقال این‌گونه به این مناطق را باهدف ازدیاد در محیط طبیعی سبب‌ساز شد. گونه سنبل‌الطیب نیز ازنظر ارزش دارویی، غذایی و همچنین حفاظتی دارای اهمیت ویژه‌ای است و به همین دلیل اقدام به تهیه نقشه گونه موردنظر شده است تا بتوان مناطق مستعد جهت احیا را توسعه داد.

برای جلوگیری از انقراض این‌گونه، ایجاد مناطق حفاظت‌شده و حفظ و نگهداری آن‌ها، اجتناب از برداشت غیرمجاز، ارتقای آگاهی مردم و مسئولین درباره اهمیت و حفاظت این‌گونه، کاهش آلودگی هوا و آب، مدیریت منابع آبی، مدیریت زمین و کشاورزی پایدار و همچنین افزایش مساحت‌های سبز و توسعه کشت گیاهان دارویی در فضای باز و گلخانه‌ها ازجمله راهکارهایی هستند که می‌تواند به حفظ این‌گونه و جلوگیری از انقراض آن کمک کند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه و تهدید بالقوه تغییرات اقلیمی برای گونه سنبل‌الطیب در منطقه اصفهان، می‌توان چند پیشنهاد برای حفاظت ازاین‌گونه داد: ایجاد مراکز تحقیقاتی و پایش مستمر برای نظارت بر وضعیت جمعیت و پراکنش این‌گونه و

همچنین پیش‌بینی تغییرات آینده با توجه به سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی. ایجاد مناطق حفاظت‌شده و محدود کردن فعالیت‌های انسانی در اطراف مناطق زیستی این‌گونه. آموزش و افزایش آگاهی عمومی در خصوص اهمیت حفظ تنوع زیستی و تأثیرات تغییرات اقلیمی بر آن. ترویج کشت گیاه سنبل‌الطیب در فضای آزاد یا تحت پوشش و کشت داخل سالن‌های گلخانه‌ای برای حفظ جمعیت و تولید این گیاه. انجام تحقیقات بیشتر برای تعیین پتانسیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر فعالیت‌های دارویی و درمانی گیاه سنبل‌الطیب و تلاش برای استفاده بهینه از این گیاه در درمان بیماری‌های مختلف. بررسی‌های بیشتری بر روی تنوع ژنتیکی گونه و ویژگی‌های زیستی آن در برابر تغییرات اقلیمی و همچنین تغییرات کاربری اراضی مطرح است. در این راستا، برنامه‌ریزی جهت جمع‌آوری داده‌های دقیق و گسترده‌تر ازاین‌گونه ازجمله داده‌های فیزیولوژیکی، ژنتیکی و اکولوژیکی، با استفاده از فناوری‌های نوین، ازجمله تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پیشنهاد می‌گردد. توسعه مدل‌های پیش‌بینی پراکنش این‌گونه با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی مبتنی بر یادگیری ماشین، به‌منظور تشخیص الگوهای توزیعی و پیش‌بینی تغییرات احتمالی آینده می‌تواند کمک مفیدی در این زمینه باشد. توسعه برنامه‌هایی جهت حفاظت و مدیریت بهینه این‌گونه در مناطقی که اکوسیستم‌های آن‌ها تحت تهدید قرار دارد، ازجمله کاهش تحریم‌های برداشت این گیاه از محیط‌زیست، استفاده از روش‌های مدیریت توانمندسازی زیستی و جلوگیری از ورود گونه‌های بیگانه و آلودگی به مناطق زیستی گونه‌ی سنبل‌الطیب پیشنهاد می‌شود.

References

Abolmaali, M. (2014). Evaluation of the effect of climate change on the distribution of khashag and mountain celery species in Isfahan province. Pasture master's thesis. Pasture Department. Faculty of Natural Resources. *Isfahan University of Technology*. Iran. 103 p.

Adhikari, P., Lee, Y.H., Poudel, A., Lee, G., Hong, S.H. & Park, Y.S. (2023). Predicting the impact of climate change on the habitat distribution of Parthenium hysterophorus around the world and in South Korea. *Biology*. 12(1), 84.

Ahmadi, P. & Mustafavi. N. (2022). Predicting the effects of climate change on the distribution of Mesopotamichthys sharpeyi (Günther, 1874) in different climate scenarios. *Iranian Remote Sensing and GIS Journal*. (In Persian).

Akbari, M., Jafari, W. & Saadat, F. (2011). Determining the potential habitat of the yellow species using the integration of GIS and remote sensing. *Remote sensing and geographic information system in natural resource*s. 1(1), 15-30.

Babaei Dehkordi, E., Naqipour.A. & Heydarian. A. (2022). Potential geographical distribution of Jashir species (Prangos ferulacea (L.) Lindl.) Under climate change scenarios in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Journal of Plant Ecosystem Protection*. 10(20), 207-224.

Canturk, U. & Kulaç, Ş. (2021). The effects of climate change scenarios on Tilia ssp. in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. *193*(12), 771.

Chegini, S., Tafvizi, F. & Noorbazargan, H. (2020). Effect of Valeriana Sysimberifolia Extract on VEGF Expression in A549 Cell Line. *Journal of Babol University of Medical Sciences*. *22*(1), 222-228.

Coulibaly, A., Avakoudjo, H.G., Idohou, R., Vodounnon, E.J., Diallo, S. & Cherif, M. (2023). Impact of climate change on the distribution of Bombax costatum Pellegr. & Vuillet in Mali. West Africa. *Trees. Forests and People*. 11, 100359.

Del Barrio, G., Alvera, B., Puigdefabregas, J. & Diez, C. (1997). Response of high mountainlandscape to topographic variables: Central Pyrenees.*Landscape Ecology*. 12(2), 95-115.

Elith, J., Kearney, M. & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in ecology and evolution*. 1(4), 330-342.

Fakhimi, E., Khodaqoli, M., Sabohi, R., Yousefi, Sa. & Shirmardi, Hamza Ali (2022). *The*

effect of climate change on the geographical distribution of Bromus tomentellus species in Central Zagros (Chaharmahal and Bakhtiari Province). The third national conference on natural resources and sustainable development in Zagros, Shahrekord. (In Persian).

Fang, J., Wang, Z., Tang, Z. & Lin, X. (2020). Maximum entropy model-based estimation of vegetation distribution in China. *Scientific Data*. 7(1), 1-12.

Fricko, O., Havlík, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., Johnson, N. & Valin, H. (2017). The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2. A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*. 42, 251-267.

Gao, T., Xu, Q., Liu, Y., Zhao, J. & Shi, J. (2021). Predicting the potential geographic distribution of Sirex nitobei in China under climate change using maximum entropy model. *Forests*. 12(2), 151.

Gaston, A. & Garcia-Vinas, J.I. (2011). Modelling species distributions with penalised logistic regressions. A comparison with maximum entropy models. *Ecological modelling*. 222(13), 2037-2041.

HamadAmin, B. A. & Khwarahm, N. R. (2023). Mapping Impacts of Climate Change on the Distributions of Two Endemic Tree Species under Socioeconomic Pathway Scenarios (SSP). *Sustainability*. 15(6), 5469.

Heydari, F., Sabohi, R., Khodaqoli, M. & Salehpour, S. (2021). *Evaluation of the effects of climate change on the habitat of Stipa arabica species in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces*. The fifth national conference on climate change and its impact on agriculture and environment. Urmia. (In Persian).

IPCC. (2014). Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPCC. (2013). Climate Change 2013. The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Khoshbakht, M. (2013). Prediction impacts of climate change on the potential habitat of Valeriana sisymbrifolia in the Isfahan province. Prediction impacts of climate change on the potential habitat of Valeriana sisymbrifolia in the Isfahan province. *Master's thesis* .Isfahan University of Technology. Isfahan Iran.

Liu, S., Wang, S., Zhang, Y., Wu, X. & Feng, X. (2021). Impacts of climate change on the distribution of plant species in Asia: a meta-analysis based on ecological niche modeling. *Regional Environmental Change*, 21(2), 1-13.

Mehdizadeh, S., Ahmadi, F. & 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.

Mirhashemi, H., Heydari, M., Ahmadi, K., Karami, O., Kavgaci, A., Matsui, T. & Heung, B. (2023). Species distribution models of Brant's oak (Quercus brantii Lindl.): The impact of spatial database on predicting the impacts of climate change. *Ecological Engineering*. 194. 107038.

Momeni Damaneh, J., Tajbakhsh, S.M., Ahmadi, J. & Safdari, A.A. (2023). Comparison of species distribution models in determining the habitat landscape of Pistacia vera L. specie in Razavi Khorasan province. *Water and Soil Management and Modeling*. 3(4), 77-92. (In Persian)

Naghipour Borj, A.A., Haidarian Aghakhani, M. & Sangoony, H. (2019). Application of ensemble modelling method in predicting the effects of climate change on the distribution of Fritillaria imperialis L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology*). 32(3), 747-758.

Ngarega, B.K., Masocha, V.F. & Schneider, H. (2021). Forecasting the effects of bioclimatic characteristics and climate change on the potential distribution of Colophospermum mopane in southern Africa using Maximum Entropy (MaxEnt). *Ecological Informatics*, 65, 101419.

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi K., Rothman D.S., van Ruijven, B.J., Van Vuuren, D.P.,

Birkmann, J., Kok, K., Levy, M. & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change* 42, 169–180.

Pashmforosh, N. & Ahmedabadi, M. (2020). Optimization of tissue culture and regeneration of valerian medicinal plant (Valeriana officinalis). *Journal of Plant Research* (Scientific). 33(1), 156-166.

Patasaraiya, M.K., Devi, R.M., Sinha, B. & Bisaria, J. (2023). Predicting Impacts of Climate Change on Teak and Sal Forests in Central India Using Maximum Entropy Modeling: an Approach for Future Conservation and Silvicultural Strategies. *Forest Science*. fxad014.

Qi, Y., Yu, H., Fu, Q., Chen, Q., Ran, J. & Yang, Z. (2022). Future changes in drought frequency due to changes in the mean and shape of the PDSI probability density function under RCP4. 5 scenario. *Frontiers in Earth Science*. 10, 857885.

Rezayi Zaman, M., Massah Bavani, A.R. & Javadi, S. (2023). Evaluation of the effects of SSP scenarios of Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) on water resources and agricultural crop in Hashtgerd region with the approach of applying an adaptation strategy. *Journal of Environmental Science and Technology*. 24(12), 93-107.

Riahi, K., Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S. & Lutz, W. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*.42. 153-168.

Riahi, K., Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., Samir, K.C., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Droue, T.L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J. C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A. & Tavoni, M. (2017) The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168.

Santos, B.A., Barbosa, D.C.A. & Tabarelli, M. (2007). Directional changes in plant assemblages along an altitudinal gradient in northeast Brazil. Brazilian *Journal of Biology*. 67(4), 777-779.

Soliman, M.M., Al-Khalaf, A.A. & El-Hawagry, M.S. (2023). Effects of Climatic Change on Potential Distribution of Spogostylum ocyale (Diptera: Bombyliidae) in the Middle East Using MaxEnt Modelling. *Insects*, 14(2), 120.

Solow, A.R. & Polasky, S. (1994). Measuring biological diversity.Environmental and Ecological Statistics. 1(2), 95-103.

Suleimany, M. (2023). Urban climate justice in hot-arid regions: Vulnerability assessment and spatial analysis of socio-economic and housing inequality in Isfahan. Iran. *Urban Climate*, 51, 101-612.

Tang, X., Yuan, Y., Li, X. & Zhang, J. (2021). Maximum entropy modeling to predict the impact of climate change on pine wilt disease in China. *Frontiers in plant science*, 12, 652500.

Wu, X., Tang, Y., Liu, S., Zhao, H. & Li, B. (2022). Impacts of climate change on the distribution of Artemisia sacrorum in the southwestern US based on the maximum entropy model. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11.

Xu, W., Zhu, S., Yang, T., Cheng, J. & Jin, J. (2022). Maximum entropy niche-based modeling for predicting the potential suitable habitats of a traditional medicinal plant (Rheum nanum) in Asia under climate changconditions. *Agriculture*, 12(5), 610.