

## **The Impact of Climate Change on The Geographic Distribution of *Thymus Kotschyanus* (Boiss and Hohen) Using Ensemble Modelling**

S. Nazari<sup>1</sup>, Z. Jafarian<sup>2</sup>, S.J. Alavi<sup>3</sup>, A.A. Naghipour<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student of Rangeland Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2. Professor, Department of Range Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3. Associated Professor, Department of Forestry, Natural Resources and Marin Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

\* Corresponding Author: z.jafarian@sanru.ac.ir

Received date: 05/06/2021

Accepted date: 26/07/2021



[10.22034/JDMAL.2021.526831.1338](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.526831.1338)

### **Abstract**

This study aimed at predicting the effect of climate change on the geographic distribution of *Thymus kotschyanus* Boiss and Hohen in Mazandaran province. Species presence data were recorded via the Global Positioning System (GPS). The distribution of *T. kotschyanus* Boiss and Hohen under current and future climatic conditions 2050 and 2070 (1428- 1448 Solar) applying two scenarios of RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change by using the GCM data series of general circulation models BCC-CSM1-1, CCSM4 and MRI-CGCM3 and the five species distribution models such as Generalized Linear Model, Generalized Additive Model, Classification Tree Analyses, Generalized Boosting Model and Random Forest methods was investigated. For this purpose, layers of environmental factors, including six bioclimatic and two physiographic variables, were used as inputs to species distribution models. Among the environmental variables, precipitation seasonality, precipitation in the coldest quarter, and isotherm had the greatest impact on habitat suitability. The assessment of the modelling indicated that the Generalized Additive Model and Generalized Boosting Model had better predictions of climate habitat than the other models. The results also indicate that climate change will change the range size of the *T. kotschyanus* Boiss and Hohen, and will move toward higher elevations in the future. The results of the present study may be used to plan habitat protection for the medicinal species of *T. kotschyanus* Boiss and Hohen, as well as its restoration and rehabilitation in the vast regions of the country.

**Keywords:** Medicinal species; Global circulation models; Habitat suitability; Species distribution models





## تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه داروئی آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss and Hohen) با بهره‌گیری از مدل‌سازی ترکیبی

سمانه نظری<sup>۱</sup>، زینب جعفریان<sup>۲\*</sup>، سید جلیل علوی<sup>۳</sup>، علی اصغر نقی‌پور برج<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲. استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

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

۴. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

\* نویسنده مسئول: [z.jafarian@sanru.ac.ir](mailto:z.jafarian@sanru.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

doi: [10.22034/JDMAL.2021.526831.1338](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.526831.1338)

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه داروئی آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss and Hohen) در استان مازندران انجام شد. اطلاعات مربوط به داده‌های نقاط مشاهده گونه توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی ثبت شد. پراکنش گونه آویشن کوهی در شرایط حال حاضر و آینده ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ میلادی (۱۴۲۸-۱۴۴۸ شمسی) تحت تأثیر تغییر اقلیم بر اساس دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 با سری داده مدل‌های گردش عمومی CCSM4.BCC-CSM1-1 و MRI-CGCM3 و با استفاده از پنج مدل پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته، مدل جمعی تعمیم‌یافته، تحلیل طبقه‌بندی درختی، مدل رگرسیون تقویت شده و روش جنگل تصادفی بررسی شد. برای این منظور لایه‌های عوامل محیطی شامل شش متغیر زیست-اقلیمی و دو متغیر فیزیوگرافی به عنوان ورودی مدل‌های پراکنش گونه‌ای به کار رفت. از بین متغیرهای محیطی به ترتیب تغییر فصلی بارندگی، مجموع بارندگی سردترین فصل سال و شاخص هم‌دمایی بیشترین تأثیر را در مطلوبیت رویشگاه گونه داشت. ارزیابی مدل‌های اجرا شده، نشان داد که مدل جمعی تعمیم‌یافته و رگرسیون تقویت‌شده نسبت به دیگر مدل‌ها، پیش‌بینی قابل اعتمادتری برای تعیین رویشگاه اقلیمی دارد. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم محدوده پراکنش گونه را تغییر داده و به سمت ارتفاعات بالاتر در آینده جابجا خواهد کرد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند برای برنامه‌ریزی برای حفاظت از رویشگاه گونه داروئی آویشن کوهی و همچنین احیاء و بازسازی آن در بخش وسیعی از کشور به کار رود.

**واژگان کلیدی:** گونه داروئی؛ مدل‌های گردش عمومی؛ مطلوبیت رویشگاه؛ پراکنش گونه‌ای



## ■ مقدمه

امروزه تغییر اقلیم به عنوان یک نگرانی بزرگ، توجه سیاست‌گذاران و دانشمندان را به خود جلب کرده است و به تهدیدی جدی برای بوم‌نظام‌ها تبدیل شده است. سوزاندن سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی، تخریب جنگل و صنعتی شدن جوامع از جمله عوامل مؤثر در انتشار گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شوند (۹) و روند تغییر اقلیم را تسریع می‌کنند. بر اساس گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup>، دوره ۳۰ ساله اخیر را می‌توان گرم‌ترین دوره ۸۰۰ سال گذشته دانست، به طوری که گرمای کره زمین  $1/5^{\circ}\text{C}$  بین سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۲ میلادی افزایش می‌یابد (۳۶، ۳۷). درک رابطه بین گونه گیاهی و اقلیم، مفهوم کلیدی در بوم‌شناسی و حفاظت است (۴۱). تغییر اقلیم یکی از عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی است و باعث انقراض برخی گونه‌ها یا گسترش و پراکنش گونه‌های دیگر می‌شود (۳۷). مدل‌های پراکنش گونه‌ای<sup>۲</sup> با استفاده از داده‌های زیست اقلیمی و خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو به عنوان یک ابزار قدرتمند برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی شناخته شده‌اند (۵، ۲۹، ۶۰). این مدل‌ها از روش‌های آماری مبتنی بر رابطه بین وقوع گونه‌ها و متغیرهای زیست اقلیمی استفاده می‌کنند (۲۸). مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها به ابزاری کلیدی در حفاظت، بوم‌شناسی، تکامل، کنترل گونه‌های مهاجم و مطالعات حیات وحش تبدیل شده است (۲۱، ۶۶، ۶۹).

مدل خطی تعمیم‌یافته<sup>۳</sup> رگرسیون چندگانه مدرن و انعطاف‌پذیری است که از توابع پیوند و واریانس برای تطبیق با توزیع‌های غیر نرمال متغیر پاسخ استفاده می‌کند (۴۶، ۲۷). مدل جمعی تعمیم‌یافته<sup>۴</sup> تعمیم نیمه‌پارامتریک مدل خطی تعمیم‌یافته است که در آن توابع جمعی و مؤلفه‌ها هموار هستند (۳۱). مدل جمعی تعمیم‌یافته مانند مدل خطی تعمیم‌یافته از تابع پیوند برای ایجاد رابطه بین میانگین متغیر پاسخ و یک تابع

هموار شده از متغیر یا متغیرهای توضیحی استفاده می‌کند (۲۷). تحلیل طبقه‌بندی درختی<sup>۵</sup> برای تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده بوم‌شناسی ایده‌آل و مناسب است. تحلیل طبقه‌بندی درختی یکی از روش‌های رگرسیون پارامتری است که درخت تصمیم‌گیری را بر اساس الگوریتم تقسیم‌بندی دوتایی بازگشتی رشد می‌دهد و این موضوع به درک تفسیر روابط کمک می‌کند (۷). مدل درخت رگرسیون تقویت شده<sup>۶</sup>، ترکیبی از روش‌های آماری و یادگیری ماشین است که با استفاده از ترکیب مدل‌های متعدد به بهبود عملکرد تک مدل کمک می‌کند. این مدل از ترکیب دو الگوریتم مدل رگرسیونی و ترکیب مجموعه‌ای از مدل‌ها برای افزایش دقت مدل استفاده می‌کند (۱۶). روش جنگل تصادفی<sup>۷</sup>، ترکیبی از پیشگوه‌های درختی است و دارای توانایی ترکیب تعاملات پیچیده میان متغیرهای مستقل است (۸). روش جنگل تصادفی با بهره‌گیری از روش تجمیع تعداد زیادی درختان غیرهمبسته ایجاد می‌کند و از آن‌ها میانگین‌گیری می‌کند (۸).

مدل‌های اقلیمی تغییرها را بر پایه مجموعه‌ای از سناریوهای واداشت تابشی ناشی از فعالیت‌های انسانی شبیه‌سازی می‌کنند (۳۵). سناریوها با عنوان نماینده خطوط سیر غلظت<sup>۸</sup> برای شبیه‌سازی مدل اقلیمی استفاده می‌شوند (۳۵) و بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نامگذاری شده‌اند. در سناریو RCP 4.5 بازتابش ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، بدون عبور از خط سیر تا  $4/5 \text{ W/M}^2$  تثبیت می‌شود و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند. در سناریو RCP 8.5 واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای، تا میزان  $8/5 \text{ W/M}^2$  تا سال ۲۱۰۰ میلادی افزایش می‌یابد (۶۳). مدل BCC-CSM1-1 تدوین شده مرکز تحقیقات هواشناسی چین بر پایه چهار مدل جو، زمین، اقیانوس و یخ می‌باشد (۶۷). مدل CCSM4 تدوین شده مرکز پژوهش‌های هواشناسی آمریکا و از پنج مدل اتمسفری، اقیانوس، زمینی، زمین-یخ و دریا

5 Classification Tree Analyses: CTA

6 Generalized Boosting Model: GBM

7 Random Forest: RF

8 Representative Concentration Pathway

1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2 Species Distribution Models

3 Generalized Linear Model: GLM

4 Generalized Additive Model: GAM

گونه آویشن کوهی با نام علمی *T. kotschyanus* Boiss and Hohen از خانواده Lamiaceae گیاهی بوته‌ای، پایا به ارتفاع ۳۰-۵ cm با تاج پوشش گسترده (۴۷) و یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای، حفاظتی، داروئی و صنعتی می‌باشد. دامنه رویش این گونه در ایران شامل اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد و فرا سرد، مدیترانه‌ای سرد و فرا سرد، نیمه‌مرطوب و مرطوب سرد و فرا سرد می‌باشد (۴۷). فرم بالشتکی با تاج پهن و نسبتاً وسیع، به همراه ریشه‌های قوی و فشرده، سبب شده است که این گونه نقش مهمی در تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش آبی ایفا کند (۴۷). گل‌های فراوان و معطر آن موجب جذب زنبور عسل شده و از این نظر در صنعت زنبورداری گیاه حائز اهمیتی محسوب می‌شود. از این گیاه داروئی در درمان بسیاری از بیماری‌های گوارشی و اعصاب در صنایع داروسازی و همچنین برای مصارف بهداشتی، استفاده‌های فراوان می‌شود (۴۷). حفاظت از این گونه داروئی با ارزش و گسترش مناطق مستعد رویش این گونه کمک مؤثری به بهبود وضعیت اقتصادی مرتع‌داران و احیای دیم‌زارهای کم‌بازده خواهد کرد (۴۷). هدف پژوهش حاضر شناسایی پراکنش گونه داروئی *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در حال حاضر و پیش‌بینی پراکنش این گونه تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده می‌باشد.

#### ■ مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با مساحتی معادل ۲۳۷۵۶ km<sup>2</sup> بین طول جغرافیایی ۳۴° ۵۰' تا ۱۰° ۵۴' شرقی و عرض جغرافیایی ۴۷° ۳۵' تا ۳۶° ۳۵' شمالی واقع شده است. این منطقه از شمال به دریای خزر و از جنوب به وسیله کوه‌های البرز محدود می‌شود. آب و هوای استان مازندران را بر اساس خصوصیات دما، بارش و توپوگرافی منطقه می‌توان به دو نوع آب و هوای معتدل خزری و آب و هوای کوهستانی تقسیم کرد. به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی و فاصله کم بین مناطق کوهستانی و دریا، دارای بارش سالیانه نسبتاً قابل توجه می‌باشد. میزان بارندگی و رطوبت هوا در قسمت غرب استان بیشتر از شرق آن است. در طول دوره آماری ۵۰ ساله، میانگین بارش

یخ تشکیل شده است (۲۳). مدل MRI-CGCM3 زیر مجموعه‌ای از مدل MRI-ESM1 می‌باشد که در کشور ژاپن توسعه یافته است و متشکل از مدل‌های جو-زمین، آئروسول و یخ‌های اقیانوس است (۶۸). از آن جا که اختلافات اندک در شرایط اولیه یا پارامترهای مدل می‌تواند منجر به اختلاف زیادی در پیش‌بینی مدل شود (۶۲)، استفاده از ترکیبی از این مدل‌ها به جای تکیه به خروجی‌های حاصل از یک مدل مجزا پیشنهاد می‌گردد. عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های انفرادی می‌تواند با بررسی هم‌زمان نتایج چندین مدل کاهش‌یابد (۳). بسیاری از مدل‌سازان معتقدند که در بررسی‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای مدل‌های گروهی بر مدل‌های منفرد برتری دارند (۶۴، ۳۰).

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی در رابطه با مدل‌سازی تغییرات پراکنش گونه‌ها در اثر تغییر اقلیم انجام شده است. نتایج بررسی دامنه پراکنش گونه داروئی *Lamiaceae Salvia hydrangea* DC. Ex Benth از تیره *Primula* در پژوهشی دیگر اثر تغییر اقلیم بر دو گونه *Cyananthus lobatus* Wall ex Benth و *sonchifolia* Franch در هیمالیا نشان می‌دهد که گستره پراکنش این گونه‌ها در اثر تغییر اقلیم محدود خواهد شد (۳۲). نتایج مطالعه پراکنش گونه *Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr در زاگرس مرکزی نشان می‌دهد که رویشگاه‌های مناسب این گونه تا سال ۲۰۷۰ تحت تأثیر اقلیم کاهش می‌یابد (۵۸). نتایج بررسی رویشگاه بالقوه گونه داروئی *Anchusa italica* Retzius در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل تعمیمی تقویت‌شده نشان می‌دهد که متغیرهای اقلیمی میانگین دمای سالیانه، میانگین دمای روزانه و تغییرات فصلی بارش بیشترین تأثیر را بر توانایی این گونه برای اشغال رویشگاه‌های مناسب داشتند (۱۸).

شناسایی گیاهان داروئی و بهره‌برداری چند منظوره از مراتع علاوه بر بازده اقتصادی برای مردم بومی، سلامت اکوسیستم را در بر خواهد داشت، لذا مطالعه پراکنش گونه داروئی *T. kotschyanus* Boiss and Hohen نقش مهمی در حفظ و توسعه رویشگاه این گونه با ارزش دارد.

کننده) مواجه است (۱۲). شاخص تورم واریانس از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (1)$$

که در این رابطه VIF شاخص تورم واریانس و R ضریب تبیین مدلی است که در آن متغیر مستقل روی سایر متغیرهای دیگر برازش شده است.

در پایان ۸ متغیر شامل شاخص هم‌دمایی (BIO3)، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال (BIO8)، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال (BIO9)، تغییرات فصلی بارندگی (BIO15)، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال (BIO18)، مجموع بارندگی سردترین فصل سال (BIO19)، شیب و مقادیر جهت جغرافیایی به عنوان متغیرهای محیطی وارد مدل شدند.

#### مدل‌های پراکنش گونه‌ای

از پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته، مدل جمعی تعمیم‌یافته، تحلیل طبقه‌بندی درختی، رگرسیون تقویت‌شده و روش جنگل تصادفی برای پیش‌بینی پراکنش فعلی گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen و همچنین ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش آینده این گونه استفاده شد. مدل‌سازی‌ها با بهره‌گیری از بسته biomod 2 (۵۹) در محیط نرم افزار R انجام شد.

(الف)



شکل ۱. الف) موقعیت استان مازندران در ایران (ب) نقاط حضور گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen

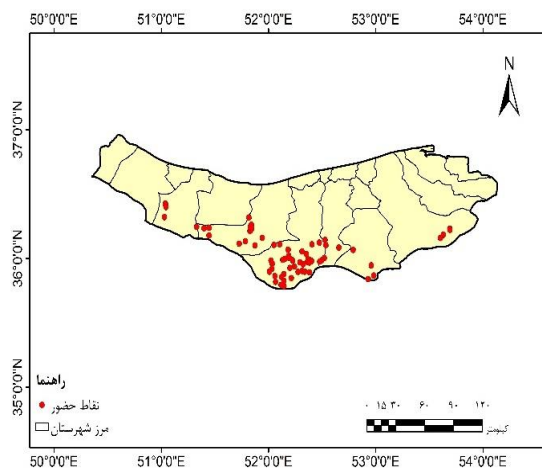
سالیانه ۷۹۶ mm و میانگین دمای هوای سالانه ۱۶°C می‌باشد که با حرکت از مناطق غربی به سمت مناطق شرقی بر میزان دمای هوا افزوده می‌شود (۳۸).

#### روش نمونه‌برداری و انتخاب متغیرهای محیطی

نقاط حضور گونه بر پایه بازدید از مناطق حضور گونه در سطح استان با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت گردید. نمونه‌گیری نقاط با دو شرط وجود حداقل ۱ km فاصله بین نقاط حضور و پرهیز از برداشت تک‌پایه‌ها به عنوان حضور گونه انجام شد و در نهایت ۷۱ نقطه حضور برای گونه ثبت شد (شکل ۱).

۱۹ متغیر زیست اقلیمی ریز مقیاس شده برای شرایط اقلیمی فعلی و آینده سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ میلادی با تفکیک مکانی ۱ km (۳۴) به‌دست آمد (جدول ۱). متغیر ارتفاع از مدل رقومی ارتفاعی SRTM<sup>1</sup> (۱۷) با تفکیک‌پذیری ۳۰ m استخراج شد و لایه‌های شیب و جهت جغرافیایی با استفاده از آن و بسته Raster در محیط R تولید شدند (۳۳). برای بررسی هم‌خطی میان متغیرهای محیطی از فرآیند گام به گام و تخمین عامل تورم واریانس<sup>۲</sup> با استفاده از بسته usdm در محیط R استفاده شد و متغیرهای با مقدار عامل تورم واریانس کمتر از ۱۰ انتخاب شدند (۲۶، ۵۰). عامل تورم واریانس، شدت هم‌خطی چندگانه را در تحلیل رگرسیون ارزیابی می‌کند. VIF بزرگتر از ۱۰ نشان می‌دهد که مدل با مشکل همبستگی بین متغیرهای مستقل (پیش‌بینی

(ب)



1 Shuttle Radar Topography Mission  
2 Variance Inflation Factor

جدول ۱. توصیف متغیرهای زیست- اقلیمی مورد استفاده در مدل سازی پراکنش گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen

متغیر زیست اقلیمی	نمایه متغیر	متغیر زیست اقلیمی	نمایه متغیر
میانگین دمای سردترین فصل سال	BIO <sub>11</sub>	میانگین دمای سالانه	BIO <sub>1</sub>
مجموع بارندگی سالانه	BIO <sub>12</sub>	میانگین دامنه دمای روزانه	BIO <sub>2</sub>
مجموع بارندگی مرطوبترین ماه سال	BIO <sub>13</sub>	شاخص هم‌دمایی $100 \times (\text{Bio7}/\text{Bio2})$	BIO <sub>3</sub>
مجموع بارندگی خشکترین ماه سال	BIO <sub>14</sub>	تغییرات فصلی دما	BIO <sub>4</sub>
تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)	BIO <sub>15</sub>	حداکثر دمای گرمترین ماه سال	BIO <sub>5</sub>
مجموع بارندگی مرطوبترین فصل سال	BIO <sub>16</sub>	حداقل دمای سردترین ماه سال	BIO <sub>6</sub>
مجموع بارندگی خشکترین فصل سال	BIO <sub>17</sub>	تغییرات دمای سالانه (BIO <sub>5</sub> -BIO <sub>6</sub> )	BIO <sub>7</sub>
مجموع بارندگی گرمترین فصل سال	BIO <sub>18</sub>	میانگین دمای مرطوبترین فصل سال	BIO <sub>8</sub>
مجموع بارندگی سردترین فصل سال	BIO <sub>19</sub>	میانگین دمای خشکترین فصل سال	BIO <sub>9</sub>
		میانگین دمای گرمترین فصل سال	BIO <sub>10</sub>

متغیرهای پُررنگ شده، متغیرهای شرکت کننده در مدل پس از واکاوی همبستگی می‌باشند.

#### پراکنش گونه در شرایط اقلیمی مختلف

احتمال پراکنش گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen با استفاده از پنج مدل پراکنش گونه‌ای، تحت سه مدل گردش عمومی جو شامل BCC-CSM1-1، MRI-CGCM3 و CCSM4 و دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ میلادی بررسی شد. به منظور اجتناب از خطای ناشی از یک مدل گردش عمومی، از میانگین گروهی سه مدل استفاده شد (۶۴، ۳۰).

#### ارزیابی مدل‌ها

برای افزایش دقت و کارایی مدل، هر کدام از مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار انجام شد. در هر تقسیم تصادفی از ۷۰٪ داده‌های حضور برای تولید مدل و ۳۰٪ باقی‌مانده برای ارزیابی آن استفاده شد (۴). برای اندازه‌گیری صحت مدل‌های مختلف در پیش‌بینی پراکنش گونه از مقادیر

سطح زیر منحنی (AUC) در تحلیل ویژگی عملیاتی پذیرنده و آماره TSS<sup>۱</sup> استفاده شد که برای مشخص کردن کارایی مدل به کار می‌روند (۵۴). این دو شاخص با استفاده از جدول خطاهای اندازه‌گیری شده (جدول ۲) به برآورد عددی از توانایی مدل برای پیش‌بینی نقاط مناسب و نامناسب برای حضور گونه می‌پردازند. TSS این کار را با استفاده از رابطه (۱) انجام می‌دهد. مقادیر کمتر از ۰/۴ نشان‌دهنده توانایی ضعیف مدل در پیش‌بینی، ۰/۸ - ۰/۴ خوب و بیشتر از ۰/۸، عالی می‌باشد (۲).

$$TSS = \frac{(ad - bc)}{[(a + c)(b + d)]} \quad (2)$$

در مورد شاخص ROC، ابتدا باید دو مولفه نرخ مثبت صحیح<sup>۲</sup> طبق رابطه (۳) و نرخ مثبت غلط<sup>۳</sup> طبق رابطه (۴) محاسبه شوند.

جدول ۲. ماتریس تطابق نتایج حاصله از مدل‌های مورد استفاده.

عدم حضور	حضور گونه	واقعیت زمینی
		پیش‌بینی مدل
B	a	حضور گونه
D	c	عدم حضور گونه

ب) گرایش به نامناسب: رویشگاه‌هایی که گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در حال حاضر در آن‌ها حضور دارد، ولی پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیم موجب نامطلوب شدن شرایط اقلیمی برای این گونه شود؛ ج) گرایش به مناسب: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در آن‌ها حضور ندارد، ولی پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیم موجب مناسب شدن شرایط اقلیمی برای حضور این گونه می‌شود؛ د) رویشگاه‌های نامناسب پایدار: رویشگاه‌هایی که پیش‌بینی می‌شود هم در شرایط اقلیمی فعلی و هم در شرایط اقلیمی آینده برای گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen نامطلوب‌اند و این گونه در آن‌ها حضور نخواهد داشت.

#### ■ نتایج

معیارهای  $AUC (>0/92)$  و  $TSS (>0/83)$  برای همه مدل‌ها عالی ارزیابی شدند (جدول ۳). بر اساس معیارهای صحت‌سنجی مدل جمعی تعمیم‌یافته بیشترین مقدار  $TSS (0/89)$  و رگرسیون تقویت‌شده بالاترین سطح معیار  $AUC (0/98)$  را داشتند (جدول ۳).

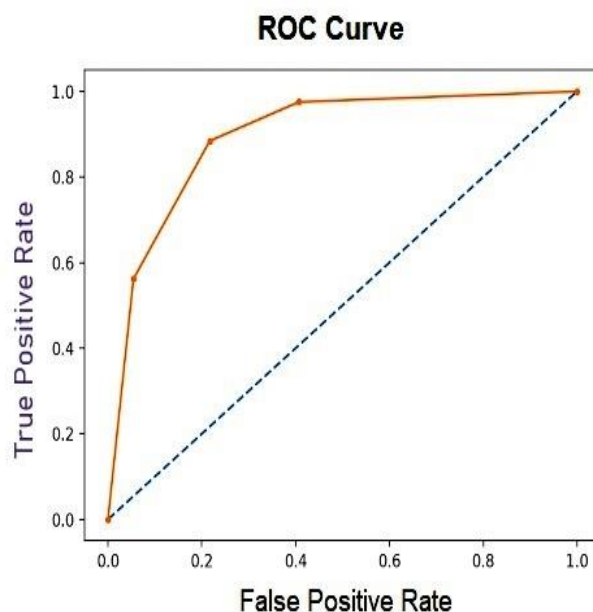
$$TP = \frac{a}{a + c} \quad (3)$$

$$FP = \frac{b}{b + d} \quad (4)$$

هر چه مساحت زیر منحنی در شکل ۲ بیشتر و به ۱ نزدیکتر باشد، نشان دهنده قدرت بیشتر در پیش‌بینی صحیح مقادیر مورد نظر است (۲۰). مدل با  $AUC$  بین ۰/۷ تا ۰/۸ دارای دقت کم، بین ۰/۷ تا ۰/۸ دارای دقت متوسط، ۰/۸ تا ۰/۹ دارای دقت خوب و ۰/۹ تا ۱ دارای دقت کامل است.

#### واکاوی تغییرهای اندازه محدود پراکنش گونه حاصل از تأثیر اقلیم

برای واکاوی تغییر اندازه محدود پراکنش<sup>۱</sup> گونه، نقشه‌های تغییرپذیری اندازه محدود پراکنش *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در چهار گروه به‌دست آمد: الف) رویشگاه‌های مناسب پایدار: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در آن‌ها حضور دارد و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز گونه در آن‌ها حضور داشته باشد؛



شکل ۲. نمودار ROC که برای محاسبه  $AUC$  به کار می‌رود

جدول ۳. میانگین مقادیر صحت سنجی مدل‌ها در بررسی پراکنش مکانی *T. kotschyanus* Boiss and Hohen

مدل	GLM	GAM	CTA	RF	GBM	میانگین
AUC	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶
TSS	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۷

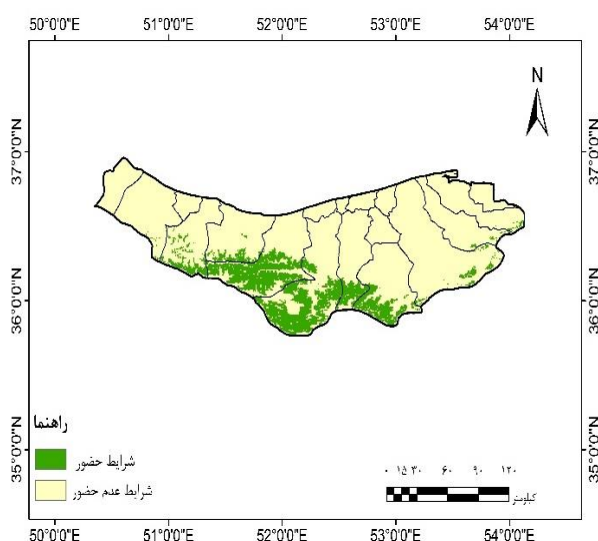
با استفاده از روش اجماع و جمع‌بندی نتایج حاصل از تمامی مدل‌ها، نقشه پراکنش گونه در حال حاضر تهیه شد (شکل ۳)

همچنین نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه تحت سناریوهای اقلیمی RCP 4.5 و RCP 8.5 و مدل‌های گردش عمومی MRI-CGCM3 و CCSM4، BCC-CSM1-1 برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تهیه شد (شکل ۴).

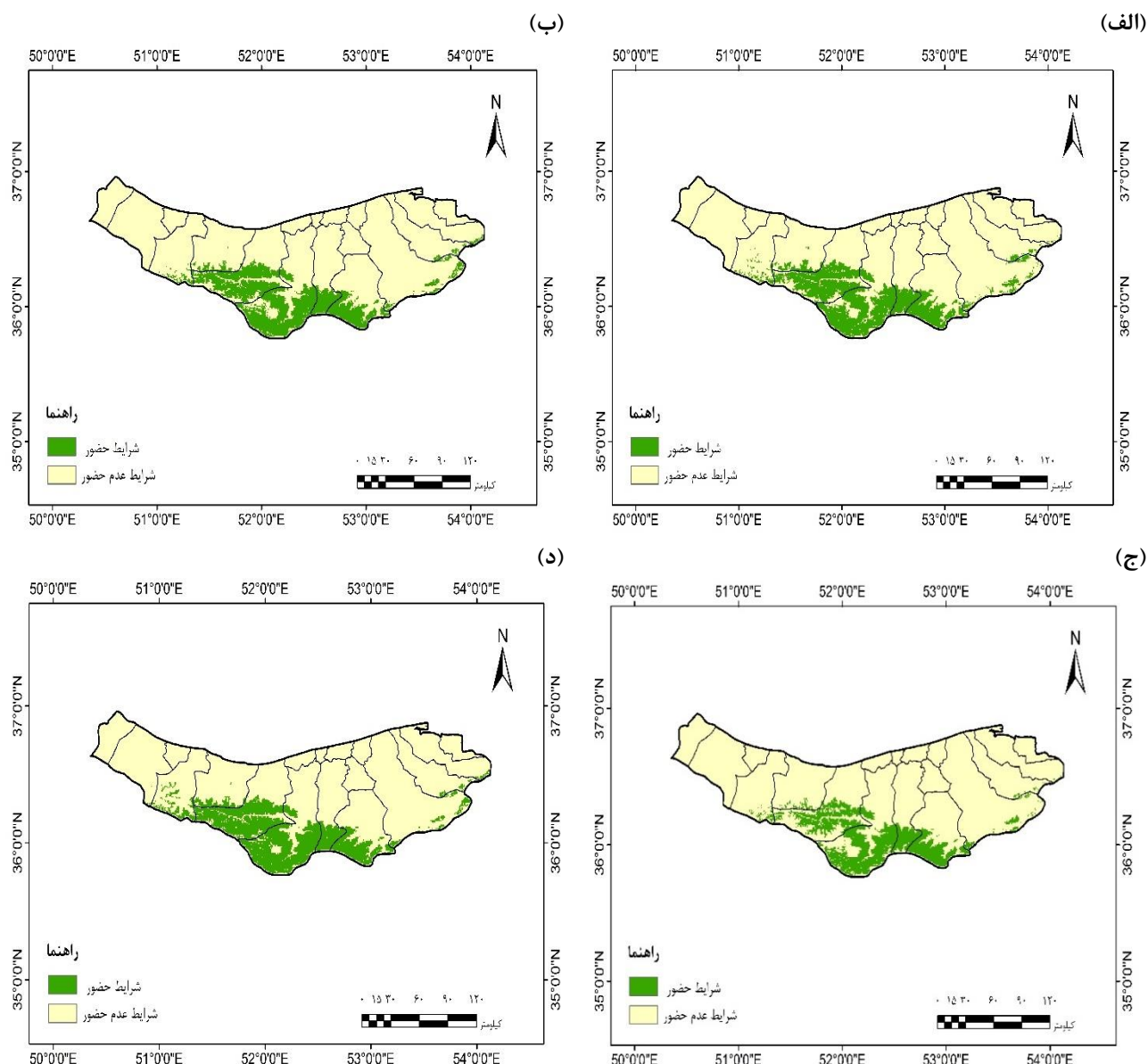
اهمیت نسبی هر یک از متغیرهای وارد شده به مدل در پیش‌بینی مناطق مطلوب برای حضور گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان داد که به ترتیب تغییرات فصلی بارندگی، مجموع بارندگی سردترین فصل سال و شاخص هم‌دمایی بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه داشتند (جدول ۴).

جدول ۴. اهمیت نسبی متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی رویشگاه‌های مطلوب *T. kotschyanus* Boiss and Hohen و اهمیت نسبی آن‌ها

اهمیت نسبی	عنوان به انگلیسی	متغیرهای محیطی
۰/۴۳	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	تغییرپذیری فصلی بارندگی
۰/۳۱	Precipitation of Coldest Quarter	مجموع بارندگی سردترین فصل سال
۰/۲۹	Isothermality (BIO2/BIO7)(*100)	شاخص هم‌دمایی
۰/۲۶	Precipitation of Warmest Quarter	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال
۰/۱۴	Mean Temperature of Driest Quarter	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال
۰/۰۷	Slope	شیب
۰/۰۲	Mean Temperature of Wettest Quarter	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال
۰/۰۱	Aspect	جهت شیب

شکل ۳. نقشه رویشگاه مطلوب امروزی گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen بر پایه داده‌های حضور با استفاده از رویکرد اجماعی





شکل ۴. پراکنش گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ در استان مازندران. (الف): پراکنش گونه در سال ۲۰۵۰ تحت تأثیر سناریوی RCP 4.5، (ب): پراکنش گونه در سال ۲۰۵۰ تحت تأثیر سناریوی RCP 8.5، (ج): پراکنش گونه در سال ۲۰۷۰ تحت تأثیر سناریوی RCP 4.5، (د): پراکنش گونه در سال ۲۰۷۰ تحت تأثیر سناریوی RCP 8.5.

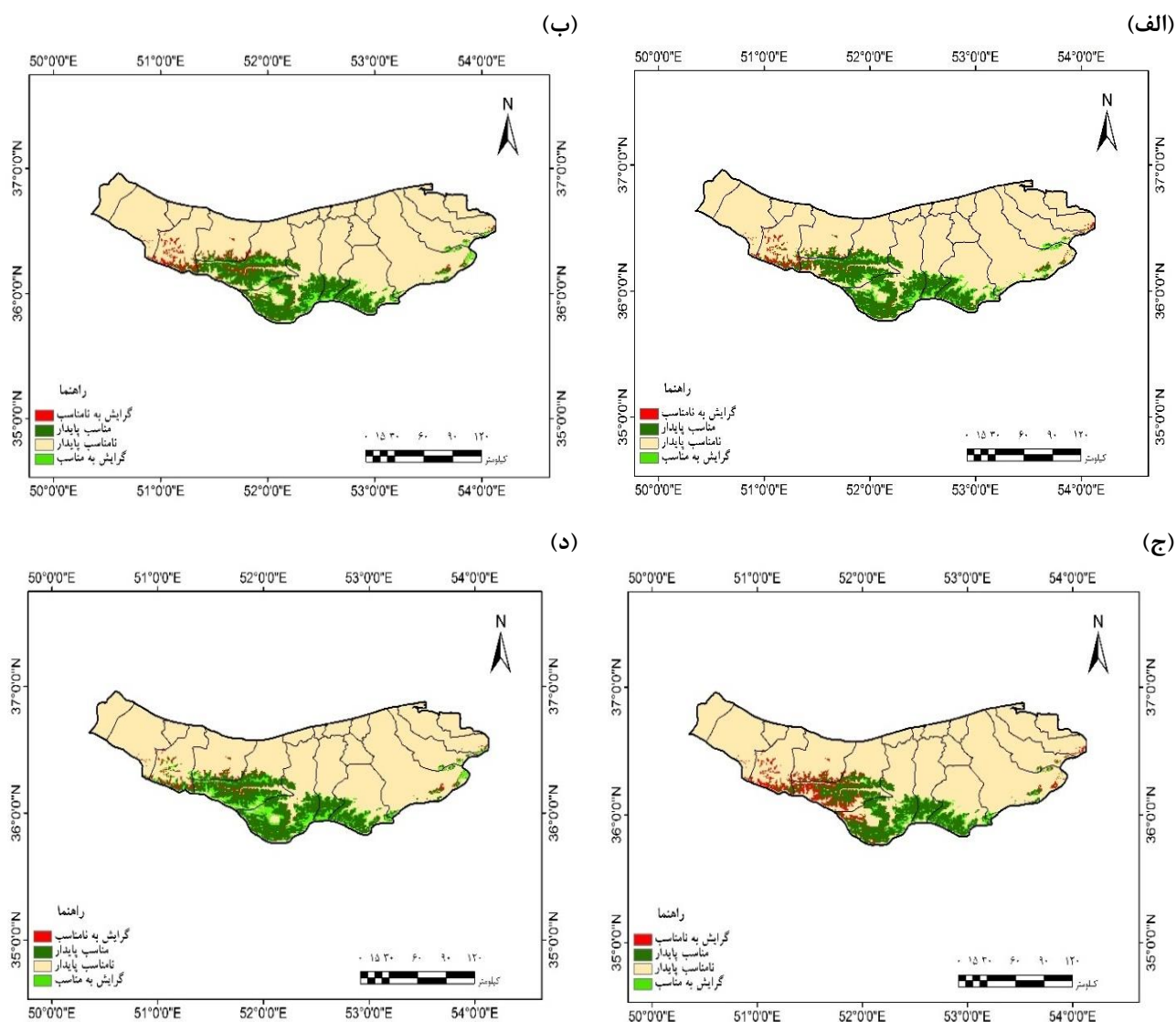
۲۰۷۰ (۸.۵) از رویشگاه‌های امروزی این گونه تا سال ۲۰۷۰ کاسته خواهد شد. رویشگاه‌های مطلوب به دست آمده در اثر تغییر اقلیم با سناریوی RCP 4.5 و سال ۲۰۵۰ معادل ۲۱/۱۹ و سناریوی RCP 8.5 و سال ۲۰۷۰ معادل ۲۷/۹۴ خواهد بود (جدول ۵ و شکل ۵). تغییرات رویشگاه‌های مطلوب گونه تا سال ۲۰۵۰ و تحت سناریوی RCP 4.5 در حدود ۱۲/۰۴+ خواهد بود و تا سال ۲۰۷۰ و تحت سناریوی RCP 8.5، ۲۰/۳۵+ خواهد شد.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر محدوده پراکنش رویشگاه‌های مطلوب گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در استان مازندران وارد سازد. برآوردهای حاصل از سناریوهای اقلیمی مختلف نشان داد که در حدود ۹/۱۵٪ (RCP 4.5) تا ۱۲/۰۵٪ (RCP 8.5) از رویشگاه‌های امروزی گونه به واسطه تغییر اقلیم تا سال ۲۰۵۰ از دست خواهد رفت. همچنین بر پایه این سناریوها، در حدود ۲۲/۸۵٪ (RCP 4.5) و حدود ۷/۵۹٪ در سناریوی (RCP 8.5)

جدول ۵. نتایج تحلیل اندازه دامنه گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در استان مازندران زیر تأثیر تغییر اقلیم

سناریوی اقلیمی	حضور پایدار	غیاب پایدار	رویشگاه‌های مطلوب از دست رفته		رویشگاه‌های مطلوب به دست آمده		تغییرات رویشگاه‌های مطلوب	
			کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد
۲۰۵۰ RCP 4.5	۴۹۸۲	۲۶۲۷۴	۵۰۲	۹/۱۵	۱۱۶۲	۲۱/۱۹	+۶۶۰	+۱۲/۰۴
۲۰۵۰ RCP 8.5	۴۸۲۳	۲۶۴۱۱	۶۶۱	۱۲/۰۵	۱۰۲۵	۱۸/۶۹	+۳۶۴	+۶/۶۴
۲۰۷۰ RCP 4.5	۴۲۳۱	۲۶۸۲۱	۱۲۵۳	۲۲/۸۵	۶۱۵	۱۱/۲۱	-۶۳۸	-۱۱/۶۳
۲۰۷۰ RCP 8.5	۵۰۶۸	۲۵۹۰۴	۴۱۶	۷/۵۹	۱۵۳۲	۲۷/۹۴	+۱۱۱۶	+۲۰/۳۵

\*علامت مثبت (+) نشان‌دهنده افزایش و علامت منفی (-) نشان‌دهنده کاهش است.



شکل ۵. تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen زیر تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ میلادی در استان مازندران، (الف): تغییرهای اندازه محدوده پراکنش گونه تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ و سناریو RCP 4.5، (ب): تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ و سناریو RCP 8.5، (ج): تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ و سناریو RCP 4.5، (د): تغییرهای اندازه محدوده پراکنش گونه زیر تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۷۰ و سناریو RCP 8.5

(۱). بیشترین تراکم و گسترش *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در دامنه ارتفاعی ۱۷۵۰m تا ۳۵۵۰m ذکر شده است (۴۷). مهاجرت به سمت ارتفاعات بالا و گسترش منطقه‌ای دو مورد از تأثیرهای بارز تغییر اقلیم بر گیاهان بوته‌ای ذکر شده است (۴۸). محققان با بررسی پراکنش گونه‌های بوته‌ای نشان می‌دهد که در اثر تغییر اقلیم، گونه‌ها به سمت ارتفاعات حرکت کرده و دامنه پراکنش خود را گسترش می‌دهند (۲۲). ناهمگنی مناطق کوهستانی به صورت توپوگرافی پیچیده و متنوع می‌تواند رویشگاه‌های متنوع و پناهگاه‌هایی برای گونه‌های مختلف گیاهی فراهم کند (۵۷) و باعث جابجایی گونه‌ها به سمت ارتفاعات شود. در مطالعات دیگر نیز الگوهای مشابهی برای گسترش ارتفاعی پراکنش گونه‌ها زیر تأثیر اقلیم گزارش شده است (۵۸، ۴۹، ۲۴). البته این نکته قابل ذکر است که تغییرات ارتفاعی گونه‌های کوهستانی در پاسخ به تغییر اقلیم ممکن است در مناطق مختلف متفاوت باشد (۷۰) چرا که میانگین دمای سردترین فصل سال در زمستان ممکن است به عنوان مانعی بر جابجایی ارتفاعی گونه‌ها تأثیر گذاشته و سبب حرکت گونه‌ها به سمت ارتفاعات پایین گردد (۷۰). علاوه بر این ممکن است مهاجرت ناشی از گرم شدن در اثر تغییر اقلیم به ارتفاعات بالاتر، باعث تغییر در ترکیب گونه‌ای و افزایش رقابت در جوامع واقع در ارتفاعات شده و جمعیت‌های گیاهی کوچکتر را مجبور به حرکت به سمت ارتفاعات پایین‌تر نماید (۴۳). گونه‌های گیاهی از طریق سازگاری، حرکت در جهات مختلف به منظور دستیابی به اقلیم مناسب (۱۳، ۵۲) و در بدترین حالت به صورت انقراض به تغییرات اقلیمی پاسخ می‌دهند (۵۳). با این وجود تحقیقات نشان دادند که همه گیاهان به یک اندازه به تغییرات اقلیمی حساس نیستند (۱۴، ۵۱). نتایج نشان داد که در مجموع، سطح رویشگاه گونه مورد نظر در آینده (سال ۲۰۵۰) در مقایسه با شرایط کنونی، در سناریو RCP ۴/۵ کاهش خواهد یافت و با سناریو ۸/۵ RCP و سال ۲۰۷۰ این کاهش رویشگاه کم‌تر خواهد بود و در مقابل رویشگاه‌های جدیدی در سناریو (RCP ۸/۵) در سال ۲۰۷۰ به دست خواهد آورد. واکنش گونه‌ها در

یافته‌های واکاوی تغییر ارتفاع رویشگاه‌های مطلوب گونه مورد بررسی زیر تأثیر اقلیم، نشان داد که در شرایط فعلی، میانگین ارتفاع از سطح دریا برای رویشگاه‌های این گونه معادل ۲۶۸۲ m می‌باشد. از طرف دیگر در اثر تغییر اقلیم، میانگین ارتفاع از سطح دریا برای رویشگاه‌های مطلوب تا سال ۲۰۷۰ میلادی تحت سناریو (RCP 8.5)، معادل ۲۸۸۹ m خواهد شد.

## ■ بحث و نتیجه‌گیری

همه روش‌های مدل‌سازی استفاده شده برای پیش‌بینی پراکنش گونه دارای مقدار میانگین AUC بیشتر از ۰/۹ و TSS بالاتر از ۰/۸ بودند که نشان می‌دهد این مدل‌ها دارای دقت کافی برای پیش‌بینی پراکنش گونه در منطقه مورد مطالعه بودند. بر پایه معیارهای صحت‌سنجی مدل‌های GBM و GAM بیشترین کارایی را برای تعیین رویشگاه اقلیمی گونه داشتند. ثبات بالا و سادگی تعمیم به عنوان مزایای مدل GBM گزارش شده است (۱۱، ۶۵). در بررسی پیش‌بینی پراکنش *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در منطقه پلور مازندران، مدل GAM به عنوان مدلی کارآمد معرفی شده است (۳۹). در بررسی دیگری در مراتع ییلاقی مازندران، مدل GBM به عنوان مدلی کارآمد برای پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی معرفی شد (۴۰).

تغییرات فصلی بارندگی، مجموع بارندگی سردترین فصل سال و شاخص هم‌دمایی به ترتیب بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen داشتند. نتایج بررسی پراکنش گونه در استان اردبیل نشان می‌دهد که بارش و دما، از عوامل مهم و مؤثر در پراکنش این گونه دارویی می‌باشند (۲۵). نتایج حاصل از مدل‌سازی، میانگین ارتفاع مناطقی که در حال حاضر گونه در آن حضور دارد را ۲۶۸۲ m نشان داد. نتایج مدل‌سازی در سال ۲۰۷۰ بر اساس سناریو RCP ۸/۵ در مناطق مستعد حضور گونه، این میانگین ارتفاع را ۲۸۸۹ m نشان داد. در مطالعات دیگر در منطقه واز مازندران ارتفاع پراکنش گونه ۲۲۰۰ m تا ۲۹۰۰ m گزارش شده است

محدوده پراکنش گونه ها در مقیاس محلی و منطقه‌ای می‌تواند بر ترکیب جامعه، عملکرد بوم‌نظام و تنوع ژنتیک تأثیر بگذارد و گیاهان را نسبت به تغییرات مداوم زیست محیطی آسیب پذیرتر کند (۱۰، ۴۵، ۵۶).

با توجه به نتایج پژوهش حاضر و کاهش آشیان بوم‌شناختی و تغییر محدوده پراکنش *T. kotschyanus* Boiss and Hohen زیر تأثیر اقلیم، لزوم توجه برنامه‌ریزی‌های مدیریتی منطبق با این تغییرات، ضروری بنظر می‌رسد. *T. kotschyanus* Boiss and Hohen در مناطق اقلیمی مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب و همچنین به واسطه ارزش داروئی و حفاظت خاک می‌تواند نقش بسیار مهمی در بهبود وضعیت مراتع کشور در این مناطق ایفا کند. همچنین بسیاری از بررسی‌ها نشان دادند که گونه‌های مختلف آویشن توانمندی خوبی برای وارد شدن به سامانه کشت و انتخاب در برنامه‌های اصلاحی دارند. لذا توجه مدیران منابع طبیعی به حفظ این گونه داروئی با ارزش ضروری بنظر می‌رسد. در پایان پیشنهاد می‌شود که در مدیریت عرصه‌های طبیعی از تصمیم‌گیری‌ها و شیوه‌های مدیریتی سازگار با تغییر اقلیم استفاده شود و همچنین پژوهش‌هایی برای بررسی تغییر اقلیم برای این گونه با ارزش داروئی و حفاظتی در نقاط دیگر کشور انجام شود.

پاسخ به تغییرات آب و هوایی می‌تواند متفاوت باشد (۴۲، ۵۵). در حالی که انتظار می‌رود بسیاری از گونه‌ها در اثر تغییر اقلیم رویشگاه‌های مناسب خود را از دست بدهند، برخی نیز پیش‌بینی می‌کنند که گونه‌ها در اثر تغییر اقلیم رویشگاه‌های جدیدی به دست آورده و محدوده‌های توزیع فعلی خود را گسترش دهند (۶۱). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بوته‌ها با گسترش پراکنش خود، رویشگاه‌های مناسب خود را افزایش می‌دهند (۶، ۴۴) و به نظر می‌رسد گونه‌های بوته‌ای زیر فشار دی‌اکسید کربن، عملکرد بهتری نسبت به گونه‌های علفی دارند (۱۵). بنابراین نتیجه مشاهده شده با پاسخ‌های فیزیولوژی یک گونه مطابقت دارد. نتایج بررسی پراکنش گونه داروئی DC. Ex *Salvia hydrangea* Benth از تیره Lamiaceae در زاگرس مرکزی نشان می‌دهد که دامنه پراکنش این گونه بوته‌ای زیر تأثیر اقلیم کاهش می‌یابد و فقط با سناریوی (RCP8.5) رویشگاه کمتری را نسبت به سناریوهای دیگر تغییر اقلیم از دست می‌دهد (۲۴) که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. از طرفی با توجه به وجود اسانس در گونه *T. kotschyanus* Boiss and Hohen می‌توان گفت که اسانس‌ها به گیاهان در شرایط تنش خشکی در ذخیره گرما و در نتیجه جلوگیری از آسیب‌دهی کمک می‌کنند (۱۹). اگرچه تغییرات دامنه پراکنش، راه‌برد مهم مقابله با تغییر اقلیم به شمار می‌رود، اما تغییر در

## References

1. Akbarzadeh, M. (2003). Medicinal Plants of Labiatae Family in the summer rangelands of Vaz region in Mazandaran Province. *Medicinal and Aromatic Plants*, 19, 37-46. (in Farsi)
2. Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Applied Ecology*, 43, 1223-1232.
3. Araujo, M. B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in ecology & evolution*, 22 (1), 42- 47.
4. Araujo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W., & Erhard, M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11(9), 1504-1513.
5. Booth, T. H. (2018). Species distribution modelling tools and databases to assist managing forests under climate change. *Forest Ecology and Management*, 430, 196-203.
6. Brandt, J. S., Haynes, M. A., Kuemmerle, T., Waller, D. M., & Radeloff, V. C. (2013). Regime shift on the roof of the world: alpine meadows converting to shrublands in the southern Himalayas. *Biological Conservation*, 158, 116-127.
7. Breiman, L. (1984). Classification and regression trees. Belmont, CA: Wadsworth International Group.

8. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.
9. Broadmeadow, M. S. J., & Matthews, R. (2003). Forests, Carbon and Climate Change: the UK Contribution. *Forestry Commission*, 1-12.
10. Calinger, K.M. (2015). A functional group analysis of change in the abundance and distribution of 207 plant species across 115 years in north-central North America. *Biodiversity and Conservation*, 24, 2439-2457.
11. Catry, F. X., Rego, F. C., Bacao, F. L., & Moreira, F. (2009). Modelling and mapping the occurrence of wildfire ignitions in Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 18(8), 921-931.
12. Chatterjee, S., & Hadi, A.S. (2006). *Regression analysis by example*, John Wiley & Sons Inc.
13. Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemuller, R., Roy, D.B., & Thomas, C.D. (2011). Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science*, 333(6045), 1024-1026.
14. Corlett, R. T., & Westcott, D. A. (2013). Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution*, 28(8), 482-488.
15. D'Odorico, P., Fuentes, J. D., Pockman, W. T., Collins, S. L., He, Y., Medeiros, J. S., Dewekker, S., & Litvak, M.E. (2010). Positive feedback between microclimate and shrub encroachment in the northern Chihuahuan desert. *Ecosphere*, 1(6), 1-11.
16. Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Animal Ecology*, 77, 802-813.
17. Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission: *Reviews of Geophysics*, 45, 1-33.
18. Farzadmehr, J., & Sangoony, H. (2020). The effect of climate change on the geographical distribution of wild borage in Khorasan Razavi. *Water and Soil Conservation*, 27(3), 145-162. (in Farsi)
19. Fasina, O. O., & Colley, Z. (2008). Viscosity and specific heat of vegetable oils as a function of temperature: 35°C to 180°C. *International Journal of Food Properties*, 11, 738-746.
20. Fielding, A. H., & Bell, J. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24 (1), 38-49.
21. Franklin, J. (2013). Species distribution models in conservation biogeography: developments and challenges. *Diversity and Distributions*, 19(10), 1217-1223.
22. Gatti, R. C., Callaghan, T., Velichevskaya, A., Dudko, A., Fabbio, L., Battipaglia, G & Liang, J. (2019). Accelerating upward treeline shift in the Altai Mountains under last-century climate change. *Scientific Reports*, 9, 7678.
23. Gent, P. R., Danabasoglu, G., Donner, L. J., Holland, M. M., Hunke, E. C., Jayne, S. R., Lawrence, D. M., Neale, R. B., Rasch, P. J., Vertenstein, M., Worley, P. H., Yang, Z. L., & Zhang, M. (2011). The community climate system model version 4. *Climate*, 24(19), 4973-4991.
24. Ghehsareh Ardestani, E., & Heidari Ghahfarrokhi, Z. (2021). Ensemble species distribution modeling of *Salvia hydrangea* under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01488.
25. Ghorbani, A., Pour nematy, A., Ghasemi, Z. S., & Shokuhian, A. (2017). Comparison of some effective environmental factors on distribution of *Dactylis glomerata* L. and *Thymus kotschyanus* Boiss and Hohen in South of Ardabil province. *Range and Watershed Management*, 70 (2), 449-464. (in Farsi)
26. Graham, M. H. (2003). Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, 84(11), 2809-2815.
27. Guisan, A., Edwards, T. C & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157, 89-100.

28. Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993-1009.
29. Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., Regan, T. J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T. G., Rhodes, J. R., Maggini, R., Setterfield, S. A., Elith, J., Schwartz, M. W., Wintle, B. A., Broennimann, O., Austin, M., Ferrier, S., Kearney, M. R., Possingham, H. P., & Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16(12), 1424-1435.
30. Hao, T., Elith, J., Guillera-Arroita, G., & Lahoz-Monfort, J. J. (2019). A review of evidence about use and performance of species distribution modelling ensembles like BIOMOD. *Diversity and Distributions*, 25(5), 839-852.
31. Hastie, T., & Tibshirani, R. (2004). Generalized additive models. Encyclopedia of statistical sciences. Chichester, UK: John Wiley & Sons Inc.
32. He, X., Burgess, K.S., Gao, L.M., & Li, D.Z. (2019). Distributional responses to climate change for alpine species of *Cyananthus* and *Primula* endemic to the Himalaya-Hengduan Mountains. *Plant Diversity*, 1(41), 26-32.
33. Hijmans, R. J., Eten, J. V., Cheng, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., & Greenberg, J. (2017). Raster: geographic data analysis and modeling. R package version 2.3-33, 2016
34. <https://www.worldclim.org>
35. IPCC. (2013). Climate Change 2013: The physical science basis Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
36. IPCC. (2014). Summary for Policymakers, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
37. IPCC. (2018). Global Warming of 1.5\_C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5\_C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change.
38. Jafari, M. (2008). Investigation and analysis of climate change factors in Caspian Zone forests for last fifty years, *Forest and Poplar Research*, 16(2), 326-314. (in Farsi)
39. Jafarian, Z & Kargar, M. (2017). Distribution Modeling of Protective and Valuable Plant Species in the Tourist Area of Polour Using Generalized Linear Model (GLM) and Generalized Additive Model (GAM). *Geography and Development*, 15 (46), 117-132. (in Farsi)
40. Jafarian, Z., & Kargar, M. (2017). Comparison of Random Forest (RF) and Boosting Regression Tree (BRT) For Prediction of Dominant Plant Species Presence in Polour Rangelands, Mazandaran Province. *Applied Ecology*, 6(1), 41-55. (in Farsi)
41. Kaky, E., Nolan, V., Alatawi, A., & Gilbert, F. (2020). A comparison between Ensemble and MaxEnt species distribution modeling approaches for conservation: A case study with Egyptian medicinal plants. *Ecological Informatics*, 60, 101150.
42. Kolanowska, M., Kras, M., Lipinska, M., Mystkowska, K., Szlachetko, D. L., & Naczka, A. M. (2017). Global warming not so harmful for all plants - response of holomycotrophic orchid species for the future climate change. *Scientific Reports*, 7(1), 1-13.
43. Lenoir, J., Gégout, J. C., Guisan, A., Vittoz, P., Wohlgemuth, T., Zimmermann, N. E., Dullinger, S., Pauli, H., Willner, W., & Svenning, J. C. (2010). Going against the flow: potential mechanisms for unexpected downslope range shifts in a warming climate. *Ecography*, 33, 295-303.
44. Manish, K., Telwala, Y., Nautiyal, D. C., & Pandit, M. K. (2016). Modelling the impacts of future climate change on plant communities in the Himalaya: a case study from Eastern Himalaya, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 92.
45. Matthies, D., Brauer, I., Maibom, W., & Tschardtke, T. (2004). Population size and the risk of local extinction: empirical evidence from rare plants. *Oikos*, 105(3), 481-488.

46. McCullagh, P. (1984). Generalized linear models. *European Journal of Operational Research*, 16, 285-292.
47. Moghimi, J. (2005). Introduction of some important rangeland species for the development and improvement of Iranian rangelands. Arvan Publication, 670p. (in Farsi).
48. Myers-Smith, I. H., & Hik, D. S. (2018). Climate warming as a driver of tundra shrubline advance. *Ecology*, 106(2), 547-560.
49. Naghipour borj, A. A., Ashrafzadeh, M., & Haidarian, M. (2021). Modeling the current and future potential distribution of *Fritillaria imperialis* under climate change scenarios and using three general circulation models in Iran. *Plant Ecosystem Conservation*, 8(17), 219-235.
50. Naimi, B., Hamm, N. A., Groen, T. A., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*, 37, 191-203.
51. Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E. M., Butchart, S. H. M., Kovacs, K. M., Scheffers, B. R. Hole, D. G., Martin, D. G., Akcakaya, H. R., Corlett, R. T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J. A., Hoffmann, A. A., Midgley, G. F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R. G., Williams, S. E., Willis, S. G., Young, B., & Rondinini, C. (2015). Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5(3), 215-225.
52. Palmer, G., Hill, J. K., Brereton, T. M., Brooks, D. R., Chapman, J. W., Fox, R., Oliver, T. H., & Thomas, C. D. (2015). Individualistic sensitivities and exposure to climate change explain variation in species' distribution and abundance changes. *Science Advances*, 1(9), e1400220.
53. Parmesan, C., & Hanley, M. E. (2015). Plants and climate change: complexities and surprises. *Annals of Botany*, 116(6), 849-864.
54. Phillips, S. J., & Dudik, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161-175.
55. Prugh, L.R., Deguines, N., Grinath, J. B., Suding, K. N., Bean, W.T., Stafford, R., & Brashares, J. S. (2018). Ecological winners and losers of extreme drought in California. *Nature Climate Change*, 8(9), 819-824.
56. Richardson, A. D., Andy Black, T., Ciais, P., Delbart, N., Friedl, M. A., Gobron, N., Hollinger, D. Y., Kutsch, W. L., Longdoz, B., Luyssaert, S., Migliavacca, M., Montagnani, L., Monger, J. W., Moors, E., Piao, S., Rebmann, C., Reichstein, M., Saigusa, N., Tomelleri, E., Vargas, R., & Varlagin, A. (2010). Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1555), 3227-3246.
57. Sun, S., Zhang, Y., Huang, D., Wang, H., Cao, Q., Fan, P., Yang, N., Zheng, P., & Wang, R. (2020). Science of the Total Environment The effect of climate change on the richness distribution pattern of oaks (*Quercus L.*) in China. *Science of the Total Environment*, 744, 140786.
58. Teimoori Asl, S., Naghipour, A.A., Ashrafzadeh, M., & Heydarian, M. (2020). Predicting the impact of climate change on potential habitats of *Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr in Central Zagros. *Rangeland*, 14(3), 526-538. (in Farsi)
59. Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araujo, M. B. (2009). BIOMOD - A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373.
60. Thuiller, W., Pollock, L. J., Gueguen, M., & Munkemuller, T. (2015). From species distributions to meta-communities. *Ecology Letters*, 18(12), 1321-1328.
61. Urban, M. C. (2015). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, 348(6234), 571-573.
62. Van Soesbergen, A., & Mulligan, M. (2018). Uncertainty in data for hydrological ecosystem services modelling: potential implications for estimating services and beneficiaries for the CAZ Madagascar. *Ecosystem Services*, 33, 175-186.

63. Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(1), 5-31.
64. Venkataraman, K., Tummuri, S., Medina, A., & Perry, J. (2016). 21st century drought outlook for major climate divisions of Texas based on CMIP5 multimodel ensemble: Implications for water resource management. *Hydrology*, 534, 300-316.
65. Vilar, L., Woolford, D. G., Martell, D. L., & Pilar Martin, M. (2010). A model for predicting human-caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 19(3), 325-337.
66. Wan, J., Wang, C., Yu, J., Nie, S., Han, S., Liu, J., Zu, Y., & Wang, Q. (2016). Developing conservation strategies for *Pinus koraiensis* and *Eleutherococcus senticosus* by using model-based geographic distributions. *Forestry Research*, 27(2), 389-400.
67. Wu, J., & Gao, X. J. (2013). A gridded daily observation dataset over China region and comparison with the other datasets. *Chinese Journal of Geophysics*, 56, 1102-1111.
68. Yukimoto, S., Adachi, Y., Hosaka, M., Sakami, T., Yoshimura, H., Hirabara, M., Tanaka, T. Y., Shindo, E., Tsujino, H., Deushi, M., Mizuta, R., Yabu, S., Obata, a, Nakano, H., Koshiro, T., Ose, T., & Kitoh, A. (2012). A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3-Model Description and Basic Performance. *Meteorological Society of Japan*, 90, 23-64.
69. Zhang, Z., Capinha, C., Weterings, R., McLay, C.L., Xi, D., Lu, H., & Yu, L. (2019). Ensemble forecasting of the global potential distribution of the invasive Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Hydrobiologia*, 826(1), 367-377.
70. Zu, K., Wang, Z., Zhu, X., Lenoir, J., Shrestha, N., Lyu, T., Luo, A., Li, Y, Ji, C, Peng, S., Meng, J., & Zhou, J. (2021). Upward shift and elevational range contractions of subtropical mountain plants in response to climate change. *Science of the Total Environment*, 783, 146896.