

The Impact of Climate Change on Suitable Habitats of *Dracocephalum kotschy* in Central Iran

Received: 2024.07.28
Accepted: 2024.08.31

Elham Ghehsareh Ardestani,^{1*} Hojat Yadegari,¹ Esmail Asadi,¹
Mohsen Bahmani²

¹ Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

² Department of Wood and Furniture Industry Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Conservation and management programs play a vital role in managing degraded ecosystems. However, success in conservation efforts, particularly under climate change, largely depends on identifying suitable habitats for the growth and survival of target species. *Dracocephalum kotschy*, a perennial medicinal plant endemic to Iran and belonging to the Lamiaceae family, is found in the highlands of central, northern, and western regions of the country. This species exhibits anti-cancer, anti-viral, anti-tumor, and bactericidal properties. This study predicts the distribution of *D. kotschy* under current and future conditions (2050 and 2080) based on two general circulation models, GFDL-ESM4 and MRI-ESM2-0, across three greenhouse gas emission scenarios (SSP126, SSP370, and SSP585) in Isfahan province for the conservation and management of this valuable plant.

Material and Methods: To predict suitable habitats for *D. kotschy*, data from 31 occurrence points and 19 bioclimatic variables (current and future conditions) from the CHELSA database and physiographic variables (elevation, slope, aspect from a DEM model) were utilized. A Pearson correlation test was applied to select one physiographic variable and nine bioclimatic variables for modeling. For the modeling process, the algorithms that were suitable for modeling were used in the implementation of the model. Among ten algorithms, eight were employed for predicting the distribution of this medicinal plant, including artificial neural networks, generalized additive models, generalized linear models, flexible discriminant analysis, random forests, regression and classification trees, multivariate adaptive regression splines, and envelope models. The ensemble model includes the integration of all the outputs of the models and was used to predict the favorable habitats of *D. kotschy* at present and in the future with a high degree of confidence.

Results and Discussion: The predictive models for *D. kotschy* showed good to excellent performance, with average AUC (0.922 ± 0.061), TSS (0.821 ± 0.111), and KAPPA (0.821 ± 0.111). The species is primarily located in the northwest, west, and south of the study area. Overall, 9.20% of the area was identified as "excellent habitat suitability," 48.1% as "moderate habitat suitability," and 32.89% as "low suitability" or "unsuitable." The maximum temperature of the warmest month, elevation, and annual precipitation were the most influential variables, explaining 60.33% of the predicted distribution changes. The highest probability of occurrence ($P < 0.8$) is expected at maximum temperatures between 27 to 32 °C, elevations between 2000 to 3500 meters, and annual precipitation ranging from 200 to 1400 mm. Comparing current and future distributions, the area of excellent and good habitat suitability is projected to decrease significantly (from -13.3% to -99.98%) compared to current distribution, with most suitable habitats expected to be lost. Climate change may lead to an upward shift of *D. kotschy* to higher elevations.

Conclusion: In general, mean annual temperature for different regions of the country would increase between 3.5-4.5°C by the year 2050 and annual precipitation would decrease in the range of 7 to 15%. Effective management of these excellent and good habitats requires accelerated decision-making and climate-adaptive operational strategies for the cultivation and restoration of this medicinal plant. Such models, if well-implemented, could play a crucial role in achieving effective conservation and management goals for these valuable medicinal species.

Keywords: Climate change, Species distribution, Ensemble model, Lamiaceae

How to cite this article:
Rayegani, B., Barti, S., Izadian, M. and Ghorbanzadeh Zaferani, S.G., 2025. Hydro-climatic assessment of climate change impacts on the upper watersheds of Gorgan Bay Wetland. Adv. Environ. Sci. 23(2): 477-490.

* Corresponding Author Email Address: elham.ghehsareh@sku.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1422



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

تأثیر تغییر اقلیم بر رویشگاه‌های مطلوب زرین گیاه
(*Dracocephalum kotschy*) در ایران مرکزی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

الهام قهساره اردستانی^{۱*}، حجت یادگاری^۱، اسماعیل اسدی^۱، محسن بهمنی^۲

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی نقش حیاتی در مدیریت بوم‌سازگان‌های تخریب شده ایفا می‌کنند. با این حال موفقیت در طرح‌های حفاظتی و مدیریتی با توجه به تغییر اقلیم تا حد زیادی به تعیین رویشگاه‌های مطلوب برای رشد و بقای گونه‌های هدف بستگی دارد. زرین گیاه (*Dracocephalum kotschy*) متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) معروف به بادرنجبویه دناپی از گونه‌های دارویی، چندساله و انحصاری کشور است که در ارتفاعات بخش‌های مرکز، شمال و غرب کشور حضور دارد. این گونه دارای خاصیت‌های ضد سرطان، ضد ویروس، ضد تومور و باکتری کش است. در پژوهش حاضر، پراکنش زرین گیاه در شرایط فعلی و آینده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM۴ و MRI-ESM۰-۲ تحت سه سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای SSP۱۲۶، SSP۳۷۰ و SSP۵۸۵ در استان اصفهان برای حفاظت و مدیریت این گونه گیاهی با ارزش پیش‌بینی شد.

^۱ گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
^۲ گروه مهندسی صنایع مبلمان و چوب، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

مواد و روش‌ها: به منظور پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ی زرین گیاه از ۳۱ نقطه حضور این گونه در سطح استان به همراه متغیرهای زیست‌اقلیمی (۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی در شرایط فعلی و آینده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) از پایگاه داده CHELSA و متغیرهای فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت، از یک مدل رقمی ارتفاع، DEM از پایگاه داده Worldclim) استفاده شد. از ۲۲ متغیر فوق با استفاده از آزمون پیرسون، یک متغیر فیزیوگرافی و ۹ متغیر زیست‌اقلیمی در مدل بکار گرفته شدند. برای روند مدل‌سازی از الگوریتم‌هایی که برازش مناسبی برای مدل‌سازی داشتند در اجرای مدل استفاده شد.

نتایج و یافته‌ها: در مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی زرین گیاه میانگین سه شاخص AUC (۰/۹۲۲ ± ۰/۰۶۱)، TSS (۰/۸۲۱ ± ۰/۱۱۱) و KAPPA (۰/۸۲۱ ± ۰/۱۱۱) عملکرد خوب تا عالی را برای مدل‌ها نشان داد. یافته‌ها نشان دادند که گونه‌ی زرین گیاه عمدتاً در جهت‌های شمال غربی، غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه حضور دارد. به طور کلی مدل ۹/۲۰ درصد از منطقه مورد مطالعه را به عنوان "مطلوبیت رویشگاه عالی"، ۱/۴۸ درصد به عنوان "مطلوبیت رویشگاه متوسط" و ۸۹/۳۲ درصد به عنوان "مطلوبیت رویشگاه‌های متوسط و پایین" و "رویشگاه نامناسب" شناسایی کرد. متغیرهای میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال، ارتفاع از سطح دریا و بارندگی سالانه بیشترین تأثیر را در تعیین توزیع جغرافیایی این گیاه دارویی داشتند و در حدود ۶۰/۳۳ درصد از تغییرات پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی زرین گیاه را توجیه نمودند. حداکثر احتمال حضور گونه‌ی مذکور ($P > ۰/۸$) در میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال از ۲۷ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد، ارتفاع از سطح دریا بین ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر و بارندگی سالیانه از ۲۰۰ تا ۱۴۰۰ رخ خواهد داد. با مقایسه توزیع فعلی و آینده توزیع جغرافیایی گونه‌ی زرین گیاه، سطح مطلوبیت رویشگاه‌های عالی و خوب این گونه‌ی دارویی بین ۱۳/۳- درصد تا ۹۹/۹۸- درصد به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. قسمت اعظم از رویشگاه‌های مطلوب عالی این گونه دارویی در منطقه مورد مطالعه از دست خواهد رفت. در حالی که پیش‌بینی می‌شود که مناطق مستعد حضور گونه در آینده از رویشگاه‌های نامطلوب رخ نخواهد داد. تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث انتقال گونه‌ی زرین گیاه از ارتفاعات پایین‌تر به ارتفاعات بالاتر در منطقه مورد مطالعه شود.

نتیجه‌گیری: به طور کلی میانگین دمای سالانه مناطق مختلف کشور تا سال ۲۰۵۰ بین ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد در حالی که میانگین بارش سالانه بین ۷ تا ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. برای مدیریت این رویشگاه‌های مطلوب عالی و خوب باید تسریع در روند تصمیم‌گیری و عملیاتی سازگار با تغییر اقلیم برای کشت و احیا این گونه دارویی به طور جدی رخ دهد. چنین مدل‌هایی اگر به خوبی اجرا شوند، ممکن است نقش محوری در دستیابی اهداف مؤثر حفاظت و مدیریت این گونه‌های دارویی ایفا کنند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، توزیع جغرافیایی گونه، مدل اجماعی، نعنائیان

استناد به این مقاله: قهساره اردستانی، ا. ح. یادگاری، ا. اسدی و م. بهمنی. ۱۴۰۴. تأثیر تغییر اقلیم بر رویشگاه‌های مطلوب زرین گیاه (*Dracocephalum kotschy*) در ایران مرکزی. فصلنامه علوم محیطی نوین، ۲۳(۲): ۴۷۷-۴۹۰.

* Corresponding Author Email Address: elham.ghesareh@sku.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1422



مقدمه

ثانویه در گیاهان دارویی تحت تأثیر شرایط محیطی، به ویژه متغیرهای آب و هوایی در مقیاس بزرگ هستند (Cahyaningsih *et al.*, 2021). با توجه به تغییرات اقلیمی، شناسایی تأثیر متغیرهای آب و هوایی بر رویشگاه‌های گیاهان دارویی برای حفاظت و مدیریت گیاهان دارویی ضروری است.

در ۳۰ سال گذشته بیشتر مناطق کره زمین روند گرم شدن و تغییرات آب و هوایی را تجربه کرده است که دلیل آن فعالیت‌های انسانی است که اثرات گسترده‌ای بر محیط‌زیست دارد. از دست دادن زیستگاه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک هم به دلیل عوامل طبیعی و هم تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است (Elith and Franklin, 2013; Burge *et al.*, 2014). در سراسر کشور، خشکسالی ناشی از تغییرات آب و هوایی و اثرات انسانی بر اکوسیستم این کشور تأثیر می‌گذارد، به عنوان مثال خشک شدن دریاچه‌ها، ناپدید شدن یا تغییر محدوده زیستگاه برخی گونه‌های جانوری و گیاهی و غیره که این کشور را مستعد تأثیرات تغییرات آب و هوایی نموده است. با افزایش دما از نظر تغییرات اقلیمی تا سال ۲۱۰۰، پیش‌بینی می‌شود که بسیاری از رویشگاه‌های گیاهان دارویی و معطر در مناطق خشک و نیمه‌خشک این کشور از بین برود.

برای ارزیابی آسیب‌پذیری گونه‌های گیاهی در برابر تغییرات آب و هوایی، مدل‌سازی توزیع گونه‌ها پرکاربردترین چارچوب مدل‌سازی در ارزیابی‌های تأثیر تغییرات آب و هوایی برای تخمین تغییرات بالقوه آینده گونه‌ها را تشکیل می‌دهد (Yang *et al.*, 2013; Wei *et al.*, 2018; Pecchi *et al.*, 2019; Zellmer *et al.*, 2019). برای کاهش عدم قطعیت‌ها در مدل‌سازی، مدل‌سازی توزیع گونه‌ای اجماعی (ترکیبی) رویکردی است که در آن چندین مدل پایه مختلف برای پیش‌بینی یک نتیجه به کار گرفته می‌شوند. تعداد کمی از مطالعات اثرات تغییرات آب و هوایی را بر روی

ایران کشوری پهناور با مراتع نیمه‌خشک و خشک فراوان در جنوب غربی آسیا در نواحی جغرافیایی گیاهی ایران-تورانی، صحارا-سندی و اروپا-سیبری واقع شده است و با بیش از ۸۰۰۰ گونه گیاهی از تنوع گیاهی بالایی برخوردار است که تقریباً ۲۸ درصد (۲۳۰۰ گونه گیاهی) آن را گیاهان معطر و دارویی تشکیل می‌دهند (Noroozi *et al.*, 2019). یکی از اهداف مهم حفاظت بوم سازگان، حفاظت از تنوع زیستی می‌باشد (Aghajani *et al.*, 2018) و حفاظت از تنوع گونه‌ای، تضمین کننده حفاظت اکولوژیکی بوم سازگان خواهد بود (Aghajani *et al.*, 2023). گیاهان معطر و دارویی برای مردم ایران نه تنها برای درمان سنتی بلکه به عنوان منبع درآمد بسیار مفید بوده و در حال حاضر و آینده قابلیت استفاده بیشتر از گیاهان دارویی را در سطح جهان دارد. گیاهان دارویی در حال حاضر به عنوان یک منبع دارویی در بسیاری از کشورها شناخته شده‌اند و در بسیاری از فرهنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی ۳۰ درصد فرآورده‌های دارویی منشا گیاهی دارند (Noroozi *et al.*, 2019).

گیاهان دارویی در ایران با تهدیداتی روبه رو هستند که می‌تواند ناشی از جنگل‌زدایی، تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری بیش از حد، تغییر اقلیم، آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها، حیوانات گیاه‌خوار، هجوم گونه‌های غیربومی، آلودگی زمین و آب، صنایع معدنی و بلایای طبیعی مختلف باشد (Cahyaningsih *et al.*, 2021). به منظور حفظ و مدیریت گیاهان دارویی با انتخاب گزینه‌هایی مانند کشت گیاهان دارویی، معرفی این گونه‌ها و سازگاری‌شان در مراتع و اقدامات بیولوژیکی حفاظت از خاک و آب در این مناطق، از بهره‌برداری بیش از حد و انقراض این گونه‌های دارویی جلوگیری شود. با کشت گیاهان دارویی، جوامع محلی ممکن است ردپای اکولوژیکی یا تأثیرشان را بر محیط طبیعی و منابع گیاهان دارویی کاهش دهند. توزیع خود گیاه و تنوع و کیفیت ترکیبات متابولیت‌های

دامنه پراکنش گونه‌ها و تغییرات آب و هوایی است (Pressey et al., 2007; Wang et al., 2013; West et al., 2016). از این رو، بررسی رابطه بین دامنه پراکنش گونه‌ها و متغیرهای آب و هوایی برای پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر دامنه پراکنش گونه‌ها و ارائه اقدامات حفاظتی، اهمیت بسیار مهمی برای حفاظت از گیاهان دارویی در آینده دارد (Franklin, 2010; Amici et al., 2017; Brambilla et al., 2017). در حال حاضر تحقیقات کمی برای تعیین عوامل محیطی موثر بر حفاظت و کشت زرین گیاه وجود دارد. با توجه به خواص مفید این گیاه دارویی به ویژه در کاربردهای درمانی، هنوز هیچ مطالعه‌ای در مورد واکنش این گونه‌ی دارویی به اثرات تغییرات آب و هوایی آینده وجود ندارد. در این مطالعه پراکنش زرین گیاه را در شرایط فعلی و آینده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس دو مدل گردش عمومی GFDL-ESM۴ و MRI-ESM۰-۲ تحت سه سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای SSP۱۲۶، SSP۳۷۰ و SSP۵۸۵ در استان اصفهان برای حفاظت و مدیریت این گونه گیاهی با ارزش پیش‌بینی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحتی معادل $۱۰۵ \times ۱/۰۷$ کیلومترمربع در مرکز فلات ایران سطحی معادل با ۶ درصد از مساحت کل ایران را با مختصات جغرافیایی $۳۰^{\circ}۴۹'$ تا $۵۵^{\circ}۵۰'$ طول شرقی و $۲۶^{\circ}۳۱'$ تا $۳۰^{\circ}۳۴'$ عرض شمالی پوشش می‌دهد. در این استان اقلیم‌های متفاوت به خاطر تغییرات زیاد ارتفاعی (ارتفاع ۴۰۰۰ متر از سطح دریا در غرب تا ۷۰۰ متر از سطح دریا در شرق) وجود دارد. میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالانه استان در حدود ۱۲۰ میلی‌متر و میانگین متوسط ارتفاع در استان بالغ بر ۱۶۰۰ متر است (Tarkesh and Jetschke, 2016).

گیاهان دارویی و معطر مورد بررسی قرار داده‌اند از جمله (Kunwar et al., 2023) روی گونه‌های دارویی *Bergenia*، *Allium wallichii*، *Aconitum spicatum*، *Neopicrorhiza*، *Nardostachys jatamansi*، *ciliata*، *Valeriana* و *Paris polyphylla scrophulariiflora*، *jatamansi* (Karimi et al., 2022) روی گونه دارویی *Nepeta glomerulosa* و (Heidari Ghahfarokhi, 2021) روی گونه دارویی *Salvia hydrangea* مطالعاتی انجام شده است.

جنس *Dracocephalum* از مهم‌ترین جنس‌های گونه‌های گیاهی در خانواده نعنائیان (Lamiaceae) می‌باشد و شامل ۲۸۲ گونه است. ۸ گونه گیاهی از این تعداد گونه در ایران یافت می‌شود. گیاه *Dracocephalum kotschyi* با نام زرین گیاه و ملیسا معروف به بادرنجبویه دنیایی از گونه‌های دارویی، چندساله و انحصاری کشور است که در بخش‌های مرکز، شمال و غرب کشور حضور دارد (Rechinger, 1986). گیاهی نیمه‌چوبی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر با ساقه‌های زیاد، برگ‌ها تخم‌مرغی شکل و دم‌برگ‌دار، گل‌ها سفید تا زرد رنگ که طول عمرشان از اوایل اردیبهشت‌ماه تا تیرماه است. این گونه گیاهی در مناطقی با حداقل بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر و با ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا مشاهده شده است. زانتو میکروول، لیموننو و ورائنتول از ترکیباتی است که در گونه‌ی زرین گیاه وجود دارد و خاصیت ضد سرطان، ضد ویروس، ضد تومور و باکتری‌کش است. این گیاه دارویی دارای خواص رفع مشکلات خواب، آرامش‌بخش، کاهش اضطراب و استرس، التیام زخم‌ها و سوءهاضمه، افزایش طول عمر، کاهش سردرد و دردهای عصبی، دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و تنظیم قند خون است که از گل، برگ و ساقه این گیاه استفاده می‌شود (Otroshy and Moradi, 2012).

برای جلوگیری از تکه تکه شدن بیشتر زیستگاه‌ها و رویشگاه‌ها، از بین رفتن گیاهان دارویی و توسعه اقدامات و راهبردهای حفاظتی مستلزم درک جامعی از رابطه بین

روش پژوهش

شبکه عصبی مصنوعی (ANN: Artificial Neural Network)، طبقه‌بندی و رگرسیون درختی (CTA: Classification and Regression Tree)، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (FDA: Flexible Discriminate Analysis)، رگرسیون چند متغیره تطبیقی (GAM: Generalized Additive Model)، روش افزایشی تعمیم یافته (GBM: Generalized Boosted Model)، مدل خطی تعمیم یافته (GLM: Generalized Linear Model)، مدل رگرسیون سازشی چند متغیره اسپلاین (MARS: Multivariate Adaptive Regression Spline)، آنتروپی بیشینه (MaxEnt: Maximum Entropy)، جنگل تصادفی (RF: Random Forest)، و پاکت محدوده سطح (SRE: Surface Range Envelope) با استفاده از نرم افزار R از طریق بسته BIOMOD2 استفاده شد.

برای روند مدل‌سازی از الگوریتم‌هایی که برازش مناسبی برای مدل‌سازی داشتند در اجرای مدل استفاده شد. از مدل ترکیبی یا اجماعی که ادغام خروجی‌های تمامی مدل‌ها را در بر می‌گیرد برای پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ی زرین گیاه در حال حاضر و آینده با درجه اطمینان بالایی استفاده شد (Lee et al., 2013).

برای تولید مدل‌ها از ۸۰ درصد نقاط حضور این گونه و برای سنجش عملکرد مدل‌ها از ۲۰ درصد آن به طور تصادفی با ۵ بار تکرار استفاده شد. احتمال وقوع رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ی زرین گیاه به ۵ گروه طبقه‌بندی شد، (۱) مطلوبیت رویشگاه عالی ($P > 0/8$)، (۲) مطلوبیت رویشگاه خوب ($0/6 \sim 0/8$)، (۳) مطلوبیت رویشگاه متوسط ($0/4 \sim 0/6$)، (۴) مطلوبیت رویشگاه ضعیف ($0/2 \sim 0/4$) و (۵) مطلوبیت رویشگاه نامناسب ($P < 0/2$) (Ghehsareh Ardestani et al., 2021).

به منظور تعیین صحت مدل‌ها در پیش‌بینی توزیع گونه‌ی زرین گیاه از سه سنجه AUC (Area Under Curve) یا سطح زیر منحنی ROC (Receiver Operating Characteristics)، TSS (True Skill Statistic) و KAPPA استفاده شد (Ghehsareh Ardestani et al., 2021).

هنگام ثبت نقاط حضور گونه‌ی زرین گیاه با استفاده از GPS (سیستم موقعیت‌یاب جهانی) باید لکه‌هایی به وسعت یک کیلومتر را در برگرد و فواصل بین نقاط حضور این گونه حداقل فاصله یک کیلومتر از یکدیگر داشته باشند. در سطح استان ۳۱ نقطه حضور گونه‌ی زرین گیاه یادداشت برداری شد.

رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ی زرین گیاه با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی (سه متغیر ارتفاع، شیب و جهت، از یک مدل رقومی ارتفاع، DEM از پایگاه داده Worldclim) و متغیرهای زیست‌اقليمی (۱۹ متغیر زیست‌اقليمی در شرایط فعلی و آینده) از پایگاه داده CHELSA دارای وضوح فضایی ۳۰ ثانیه (حدود یک کیلومتر) پیش‌بینی شد (Hijmans et al., 2005) (جدول ۱).

بر اساس تحقیقات انجام شده توسط محققان مناسب‌ترین مدل گردش عمومی به منظور شبیه‌سازی بارش و دما برای ایران مدل‌های گردش عمومی GFDL-ESM۴ (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) و MRI-ESM۲ (Meteorological Research Institute) است. در پژوهش حاضر برای فرایند مدل‌سازی از این دو مدل گردش عمومی در دو دوره زمانی ۲۰۵۰ (سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۷۰) و ۲۰۸۰ (سال‌های ۲۰۷۱-۲۱۰۰) تحت سه سناریوی مختلف انتشار SSP۱۲۶ (climate as simulated by the GCMs SSP۱-RCP۲/۶)، SSP۳۷۰ (climate as simulated by the GCMs SSP۳-RCP۳ simulated by the GCMs) و SSP۵۸۵ (climate as simulated by the GCMs SSP۵RCP) استفاده شد (Fick and Hijmans, 2017; Tang et al., 2017; Salas et al., 2018; Wei et al., 2018). در پژوهش حاضر از آزمون پیرسون (ضریب همبستگی $r < \pm 0/8$) برای بررسی همبستگی و هم خطی بین متغیرها استفاده شد (جدول ۱) (Ghehsareh Ardestani et al., 2021).

برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی زرین گیاه از ۱۰ الگوریتم

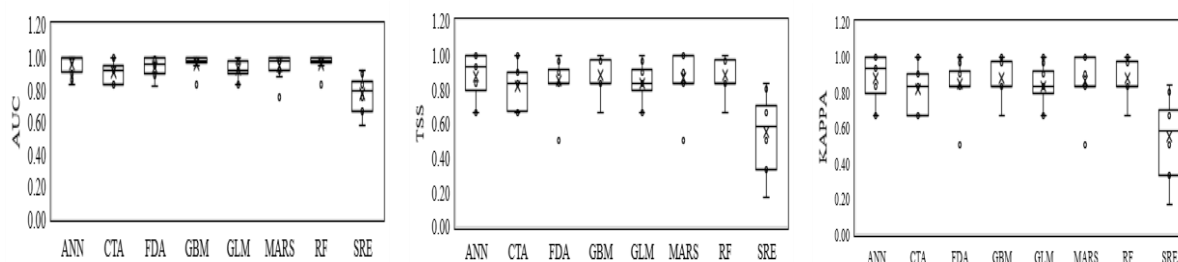
نتایج و بحث

شدند.

در مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی زرین گیاه میانگین سه شاخص AUC (0.922 ± 0.061)، TSS (0.111 ± 0.111) و KAPPA (0.821 ± 0.111) عملکرد خوب تا عالی را نشان داد. مدل‌های جنگل تصادفی، روش افزایشی تعمیم یافته و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب در شاخص AUC بالاترین میانگین (0.965 ، 0.957 ، 0.956) را به خود اختصاص دادند. مدل‌های روش افزایشی تعمیم یافته، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی در شاخص‌های TSS و KAPPA از بالاترین میانگین (به ترتیب 0.883 ، 0.883 و 0.878) برخوردار هستند (شکل ۱). مدل پاکت محدوده سطح از اعتبار کمتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است زیرا حداقل میزان شاخص‌های AUC، TSS و KAPPA (0.777 ، 0.554 و 0.554) را دربرگرفته است (شکل ۱).

از ۲۲ متغیر با استفاده از آزمون پیرسون، یک متغیر فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا) و ۹ متغیر زیست اقلیمی (میانگین دمای سالیانه، میانگین دمای روزانه، حداکثر دمای گرم‌ترین ماه، دامنه دمای سالیانه، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل، میانگین دمای خشک‌ترین فصل، میانگین دمای گرم‌ترین فصل، بارندگی سالیانه، بارندگی مرطوب‌ترین ماه) در مدل بکارگرفته شدند (جدول ۱).

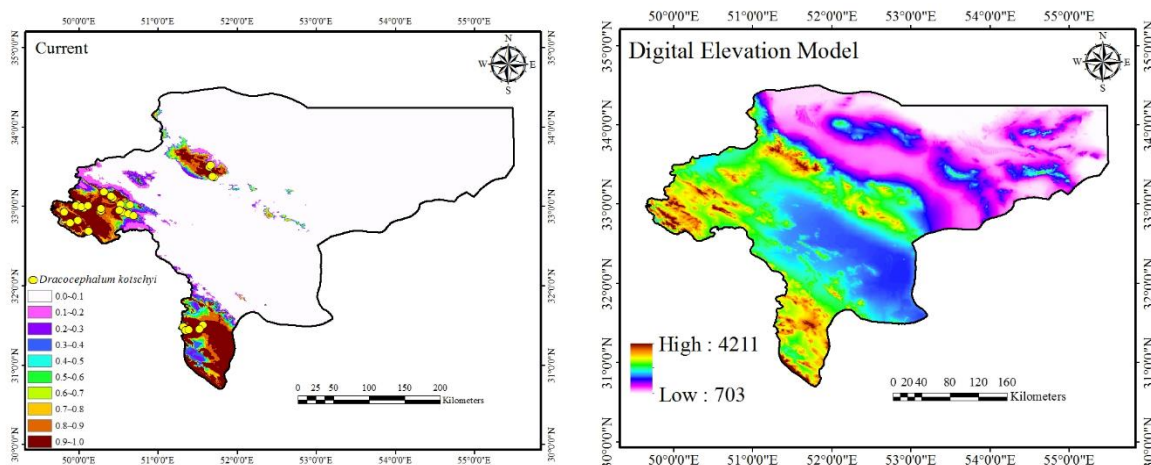
از بین ده الگوریتم در پیش‌بینی پراکنش این گونه‌ی دارویی فقط هشت الگوریتم (شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون و طبقه‌بندی درختی، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، روش افزایشی تعمیم یافته، مدل خطی تعمیم یافته، مدل رگرسیون سازشی چند متغیره اسپلاین، جنگل تصادفی و پاکت محدوده سطح) در مراحل بعدی اجرای مدل استفاده



شکل ۱- برآورد شاخص‌های AUC، TSS و KAPPA برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی زرین گیاه
Fig. 1- The indices of the AUC, TSS, and KAPPA for predicting *Dracocephalum kotschy* distribution

بر اساس پیش‌بینی رویشگاه‌های مناسب فعلی گونه‌ی زرین گیاه، رویشگاه‌های عالی ($Habitat\ suitability > 0.8$) و خوب ($0.8 > Habitat\ suitability > 0.6$) در حدود $10/68$ درصد ($9/20$ و $1/48$ درصد) معادل $11440/6$ کیلومترمربع ($9854/34$ و $1586/26$ کیلومترمربع) از کل مساحت استان اصفهان را به خود اختصاص دادند. این رویشگاه‌ها حدوداً در شمال غربی، غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند که نسبت به مناطق دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است و بر اساس بررسی‌های میدانی سطح بیشتری را نسبت به حضور واقعی این گونه پیش‌بینی نموده است (شکل ۲).

با استفاده از سه شاخص ارزیابی صحت AUC، TSS و KAPPA اکثر الگوریتم‌ها از عملکرد خوب تا عالی برخوردار بودند. به منظور پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها، یافته‌های مطالعات متعددی نشان دادند که مدل جنگل تصادفی، روش افزایشی تعمیم یافته و شبکه عصبی مصنوعی از قابلیت بالایی برخوردار هستند (Cheng *et al.*, 2012; Lin and Chiu, 2019) در حالی که الگوریتم پاکت محدوده سطح از عملکرد پایینی برخوردار بود (Cahyaningsih *et al.*, 2021) که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شكل ۲- نقشه‌های ارتفاعی و رویشگاه‌های مناسب گونه‌ی زیرین گیاه استان اصفهان
 Fig. 2- The digital elevation model (DEM) of Isfahan province, the suitable habitats for *Dracocephalum kotschy*

تكاملی با اقليم سرد کاهش می‌یابد (Bista *et al.*, 2021). یافته‌های مطالعات نشان دادند که رویشگاه‌های این گونه دارویی در مناطق کوهستانی و صخره‌ای دارای اقليم نیمه‌خشک سرد با هوای خنک تابستان با رطوبت نسبی بالا با دمای متوسط سالیانه ۱۰/۲۲ درجه سانتی‌گراد و بارندگی متوسط سالیانه ۳۲۰ میلی‌متر در مرکز و غرب ایران مشاهده شده است (Otroshy and Moradi, 2012). مطالعات دیگری بیان داشتند که متغیر ارتفاع بر پراکنش گونه دارویی *Salvia hydrangea* (Ghehsareh Ardestani and Heidari Ghahfarroki, 2021) و متغیر بارندگی بر پراکنش گونه‌های دارویی مریم نخودی شرقی (*Teucrium orentale*) (Heydari *et al.*, 2015) و لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.) (Fritillaria imperialis L.) (Naghypour Borj *et al.*, 2019) در مناطق کوهستانی تاثیر واضحی داشتند که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. بنابراین، با متغیرهای زیست اقلیمی می‌توان محدوده پراکنش گونه‌های گیاهی را پیش‌بینی نمود (Lal *et al.*, 2020).

حداکثر احتمال حضور گونه‌ی مذکور ($Habitat > 0/8$) در میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال از ۲۷ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد، ارتفاع از سطح دریا بین ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر و بارندگی سالیانه از ۲۰۰ تا ۱۴۰۰ رخ خواهد داد (شكل ۳).

بر اساس مقایسه میانگین اهمیت، بیشترین مشارکت را در پیش‌بینی پراکنش این گونه دارویی را متغیرهای میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال، ارتفاع از سطح دریا و بارندگی سالانه در استان اصفهان به خود اختصاص دادند؛ از این رو در حدود ۶۰/۳۳ درصد از تغییرات پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی مذکور را متغیرهای میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال، ارتفاع از سطح دریا و بارندگی سالانه در بر گرفته‌اند. در حالی که متغیرهای میانگین دامن سالیانه دما و میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال سهم اندکی در بر داشته‌اند (جدول ۱).

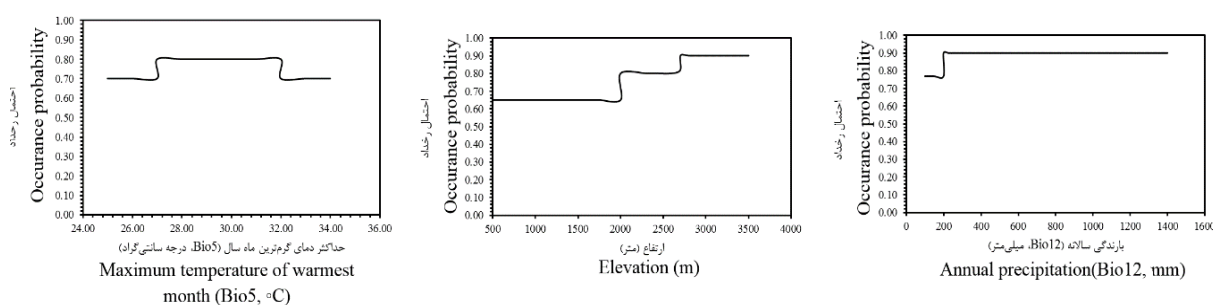
میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال، ارتفاع از سطح دریا و بارندگی سالانه از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه‌ی زیرین گیاه هستند که علت آن تغییرات زیاد توپوگرافی در نواحی پراکنش این گیاه دارویی می‌باشد. عوامل اقلیمی، به خصوص بارندگی و درجه حرارت، بر پراکنش، رشد و نمو گونه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارند. درجه حرارت به عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های گیاهی در ارتفاعات بالا و مناطق کوهستانی است (Mohapatra *et al.*, 2019). با افزایش درجه حرارت، رطوبت خاک کاهش می‌یابد و این شرایط می‌تواند پراکنش، رشد و نمو گونه‌های گیاهی را محدود کند. در گونه‌های گیاهی با افزایش درجه حرارت و کاهش بارش، سازگاری

تا ۹۹/۹۶- درصد (SSP۳۷۰، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM۴ و بین ۸۱/۱۰- درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) تا ۹۹/۹۸- درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM۰-۲ کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵).

نتایج اختلاف قابل توجهی را بین رویشگاه‌های مطلوب حال حاضر و آینده (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) گونه زین گیاه را نشان دادند. سطح مطلوبیت رویشگاه‌های عالی ($> 0/8$) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی گونه‌ی زین گیاه بین ۸۱/۳۴- درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰)

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ی زین گیاه و اهمیت نسبی آن‌ها
Table 1. Variables were employed to model *D. kotschy* distribution and their relative importance

منبع Source	اهمیت نسبی Relative importance	واحد Unit	متغیرهای محیطی Environmental variables	علامت اختصاری Abbreviation sign
http://chelsa-climate.org	29.25	°C	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال Maximum temperature of warmest month	Bio5
http://www.worldclim.org	16.04	m	ارتفاع از سطح دریا Elevation	EI
http://chelsa-climate.org	15.04	mm	بارندگی سالیانه Annual precipitation	Bio12
http://chelsa-climate.org	8.11	mm	بارندگی پربارش‌ترین ماه Precipitation of wettest period	Bio13
http://chelsa-climate.org	6.99	°C	میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال Mean temperature of warmest quarter	Bio10
http://chelsa-climate.org	6.29	°C	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال Mean temperature of driest quarter	Bio9
http://chelsa-climate.org	6.09	°C	میانگین دمای سالیانه Annual mean temperature	Bio1
http://chelsa-climate.org	6.06	°C	میانگین دامنه دمای روزانه (حداکثر دما-حداقل دما)(متوسط ماهانه) Mean diurnal range (mean of monthly max. and min. temp.)	Bio2
http://chelsa-climate.org	4.03	°C	میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال Mean temperature of wettest quarter	Bio8
http://chelsa-climate.org	2.14	°C	دامنه سالیانه دما (Bio5-Bio6) Temperature annual range (Bio5-Bio6)	Bio7



شکل ۳- متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر احتمال رخداد گونه‌ی زین گیاه
Fig. 3- Environmental variables affecting the probability of *D. kotschy* occurrence

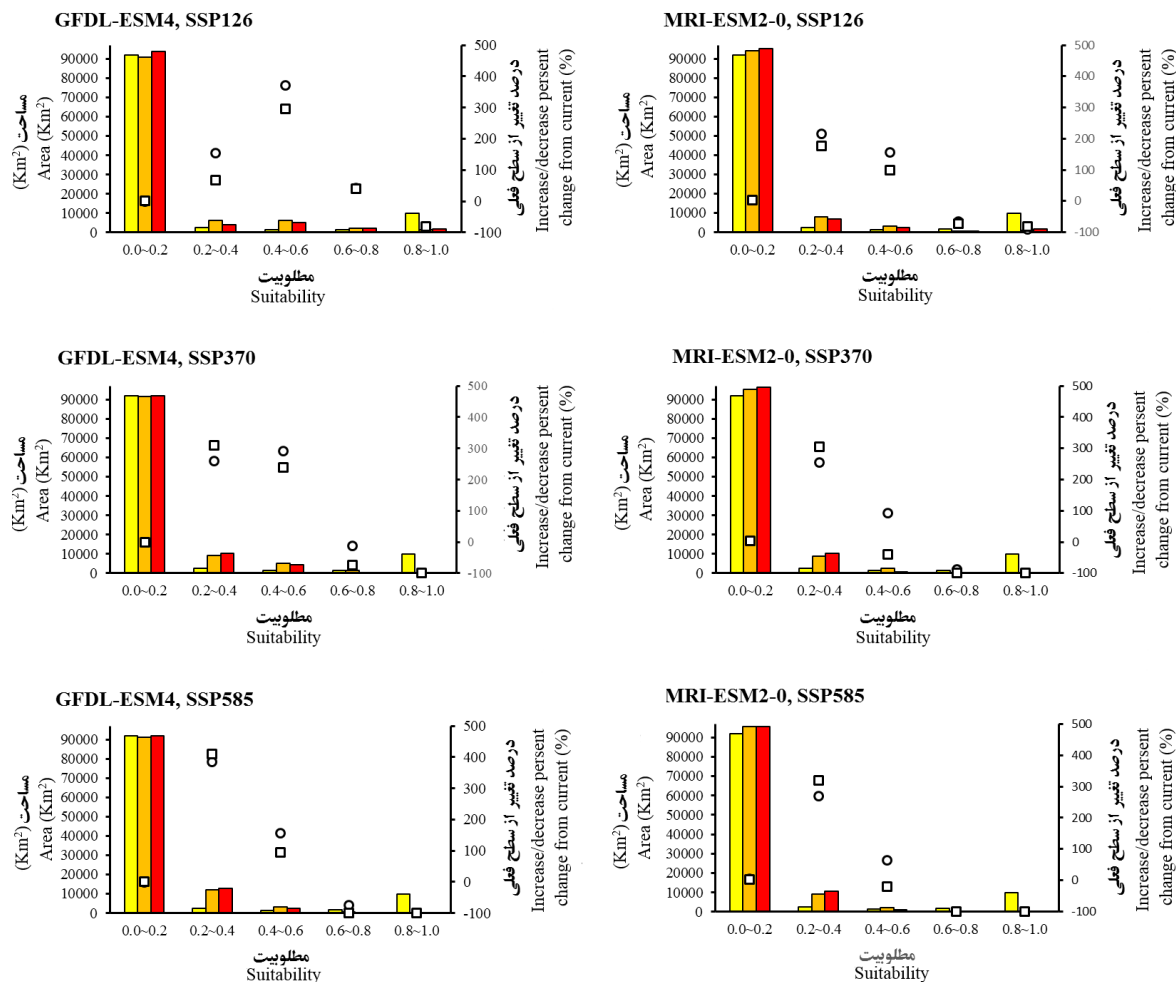
۹۹/۸۱- درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM۲ کاهش می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵). سطح مطلوبیت رویشگاه متوسط ($< 0/6$) Habitat $< 0/6$ گونه‌ی مورد مطالعه بین ۹۵/۱۱ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) تا ۳۷۲/۰۳ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۵۰) در گردش عمومی

سطح مطلوبیت رویشگاه خوب ($< 0/8$) Habitat $< 0/8$ در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی دارویی مذکور بین ۱۳/۱۳- درصد (SSP۳۷۰، ۲۰۵۰) تا ۹۹/۵۲- درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) به جزء SSP۱۲۶ در بازه زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ (۴۱/۹۴ و ۳۹/۷۷ درصد) در گردش عمومی GFDL-ESM۴ و بین ۶۵/۷۳- درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۵۰) تا

۳۱۹/۹۲ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی -۰ MRI-ESM۲ افزایش می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵). مساحت مطلوبیت رویشگاه نامناسب ($Habitat\ suitability < 0/2$) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی این گونه‌ی دارویی بین -۰/۱۱ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) تا -۰/۹۹ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) به جزء SSP۳۷۰ در ۲۰۸۰ (۰/۱۳ درصد) و SSP۱۲۶ در ۲۰۸۰ (۱/۹۶ درصد) گردش عمومی GFDL-ESM۴ اندکی کاهش و بین ۲/۶۳ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۵۰) تا ۴/۶۸ درصد (SSP۳۷۰، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM۲-۰ افزایش اندکی می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵)

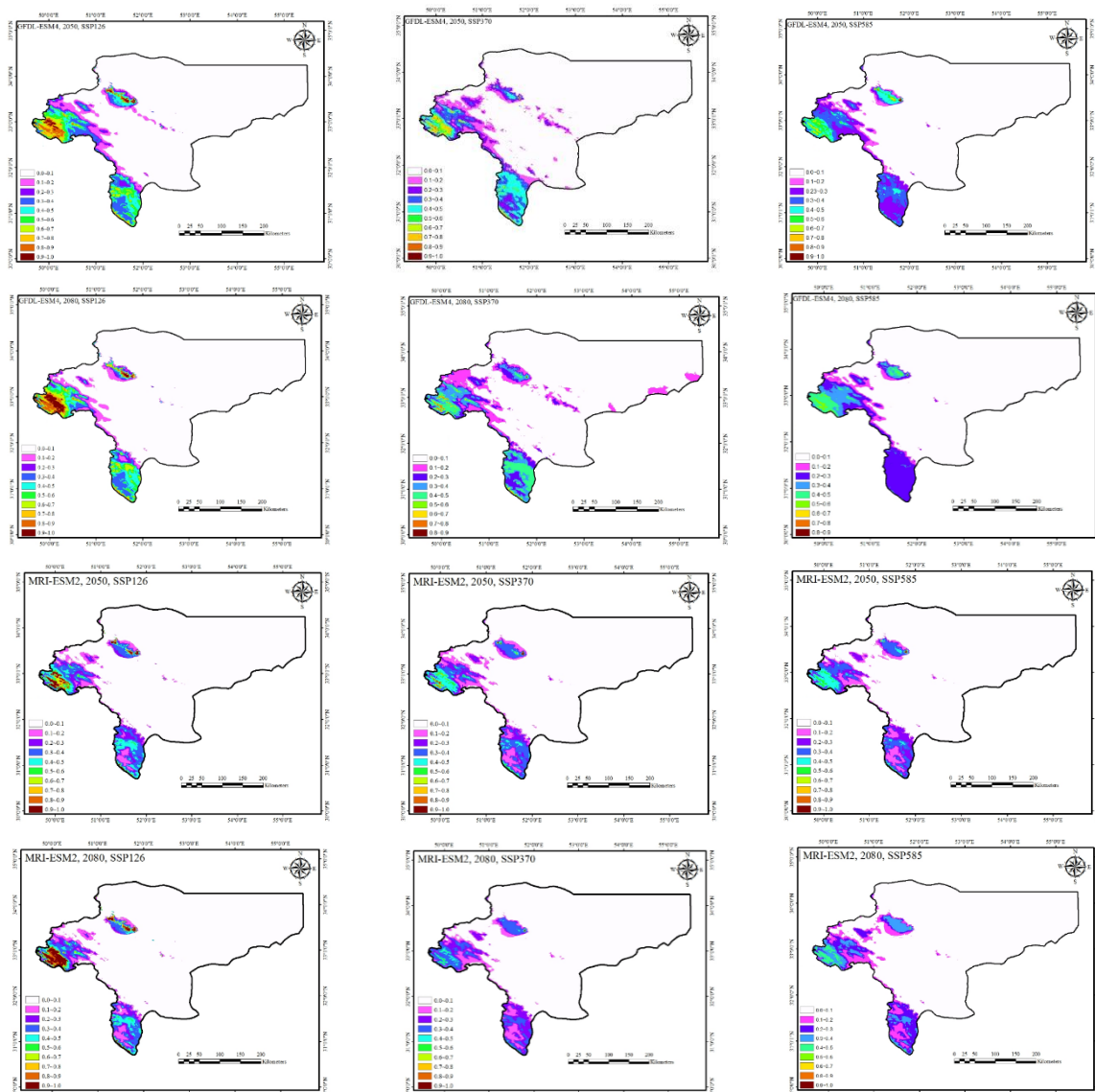
GFDL-ESM۴ و بین ۶۴/۴۷ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۵۰) تا ۱۵۵/۹۴ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۵۰) به جزء SSP۳۷۰ در ۲۰۵۰ (۴۰/۳۳- درصد) و SSP۵۸۵ در ۲۰۸۰ (۲۰/۵۹- درصد) در گردش عمومی MRI-ESM۲-۰ افزایش چشمگیری می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵).

سطح مطلوبیت رویشگاه ضعیف ($Habitat < 0/4$ suitability) در آینده در مقایسه با پراکنش فعلی گونه‌ی زین گیاه بین ۶۸/۲۶ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) تا ۴۱۱/۲۲ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM۴ و بین ۱۷۵/۸۹ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) تا



شکل ۴- روند تغییرات رویشگاه‌های مناسب گونه‌ی زین گیاه تحت سه سناریوی اقلیمی SSP۱۲۶، SSP۳۷۰ و SSP۵۸۵ در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس مدل‌های گردش عمومی GFDL-ESM۴ و MRI-ESM۲-۰ (راهنمای نمودار، رنگ زرد: حال حاضر، رنگ نارنجی: دوره زمانی ۲۰۵۰، رنگ قرمز: دوره زمانی ۲۰۸۰، □: درصد تغییرات از حال حاضر تا ۲۰۵۰، ○: درصد تغییرات از حال حاضر تا ۲۰۸۰)

Fig. 4- The process of changes in suitable habitats for *D. kotschyi* under the climate scenarios in 2050 and 2080 based on the General Circulation Models (Chart guide, yellow color: present, orange color: time period 2050, red color: time period 2080, □: percentage change from now to 2050, ○: percentage change from now to future)



شکل ۵- رویشگاه‌های مناسب گونه‌ی زین گیاه تحت سناریوی اقلیمی SSP۱۲۶، SSP۳۷۰ و SSP۵۸۵ در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر

اساس مدل گردش عمومی GFDL-ESM۴ و MRI-ESM۲-۰

Fig. 5- Suitable habitats for *D. kotschyi* under the climate scenarios in 2050 and 2080 based on the General Circulation Models

۲-MRI-ESM۰-۲، در حدود ۰/۰۲ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) تا ۰/۶۳ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) رویشگاه‌های نامطلوب به رویشگاه‌های مطلوب تبدیل خواهد شد. به طور کلی، نرخ خالص تغییرات وسعت رویشگاه مطلوب این گونه در حال حاضر نسبت به آینده بین ۸۲/۴۹- درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) تا ۹۹/۹۸- درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM۴ و بین ۸۱/۴۸- درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) تا ۹۹/۹۸- درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-۲-۰ ESM برآورد شد (جدول ۲).

به واسطه تغییرات و پیامدهای اقلیمی، رویشگاه‌های فعلی گونه‌ی زین گیاه بین ۸۲/۴۹ درصد (SSP۱۲۶، سال ۲۰۸۰) تا ۹۹/۹۸ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی GFDL-ESM۴ و ۸۲/۱۱ درصد (SSP۱۲۶، ۲۰۸۰) تا ۱۰۰ درصد (SSP۵۸۵، ۲۰۵۰، SSP۳۷۰ و SSP۵۸۵، ۲۰۸۰) در گردش عمومی MRI-ESM۲-۰ از بین خواهد رفت. در صورتی که در گردش عمومی GFDL-ESM۴، در بازه زمانی آینده رویشگاه‌های نامطلوب به رویشگاه‌های مطلوب گونه‌ی زین گیاه تبدیل نخواهند شد در حالی که در گردش عمومی

جدول ۲- تغییر سطح رویشگاه‌های مناسب گونه‌ی زرین گیاه
Table 2. Changes in the suitable habitat area for *D. kotschy*

تغییرات در سطح رویشگاه (درصد) Net change (%)	رویشگاه جدید (درصد) Habitat gain (%)	رویشگاه از دست رفته (درصد) Habitat loss (%)	غیاب پایدار (کیلومتر مربع) Stable absence (Km ²)	حضور پایدار (کیلومتر مربع) Stable presence (Km ²)	سناریو Scenario	گردش عمومی هوا General Circulation Model
GFDL-ESM4						
-96.94	0.00	96.95	137822	338	SSP126	2050
-87.52	0.00	87.52	133825	1881	SSP370	
-99.43	0.00	99.43	138144	61	SSP585	
-82.49	0.00	82.49	137823	1940	SSP126	2080
-96.32	0.00	96.32	133825	555	SSP370	
-99.98	0.00	99.98	138144	2	SSP585	
MRI-ESM2-0						
-90.15	0.53	90.67	137652	1044	SSP126	2050
-99.19	0.42	99.61	137664	44	SSP370	
-99.71	0.29	100	137679	0	SSP585	
-81.48	0.63	82.11	137640	2002	SSP126	2080
-99.84	0.16	100	137693	0	SSP370	
-99.98	0.02	100	137709	0	SSP585	

نتیجه گیری

بهره‌برداری بیش از حد از گیاهان دارویی در عرصه‌های طبیعی هم‌زمان با تغییرات اقلیمی و افزایش فشار انسان بویژه در مناطق کوهستانی که تغییرات اقلیمی بسیار سریع و پیچیده‌تر رخ می‌دهد موجب انقراض گیاهان می‌شوند. چنین انقراض‌هایی منجر به از دست دادن هم‌زمان ارزش‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی این عرصه‌ها می‌شوند (Coleman *et al.*, 2020).

یکی از رویکردهای مدل‌های پراکنش گونه‌ای مدل‌های جمع‌جمعی است که برای تعیین رویشگاه‌های حساس و مطلوب در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Zhang *et al.*, 2018; Kaky *et al.*, 2019; Norberg *et al.*, 2019). به منظور تضمین پراکنش گونه‌های موردنظر در آینده، این رویکرد می‌تواند برای شناسایی و حفاظت از رویشگاه‌های مطلوب این گونه‌ها و

با مقایسه پراکنش حال حاضر و آینده و نرخ تغییرات خالص این گونه، سطح رویشگاه‌های با مطلوبیت عالی و خوب این گونه کاهش چشمگیری در پی خواهد داشت که می‌تواند زنگ هشدار برای انقراض گونه زرین گیاه در نظر گرفت (Robiansyah, 2018; Asase and Peterson, 2019; Vincent *et al.*, 2019; Gaisberger *et al.*, 2020). با تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود رویشگاه‌های این گونه از سمت شرق به غرب منطقه مورد مطالعه و در شیب ارتفاعی به سمت مناطق مرتفع‌تر به خاطر داشتن درجه حرارت پایین‌تر سوق داده شود که منجر به رقابت گونه‌های گیاهی برای اشغال فضا می‌شود (Thuiller, 2007; Mohapatra *et al.*, 2019). به طور کلی در برنامه‌های حفاظت و مدیریت این گونه دارویی ارزشمند باید روند تصمیم‌گیری و عملیات سازگاری این گونه با تغییر اقلیم برای کشت و احیای آن تسریع شود (Asase and Peterson, 2019).

معرفی کرد.

در پژوهش حاضر رویشگاه‌های با مطلوبیت عالی و خوب این گونه دارویی به دلیل تغییرات اقلیمی آینده تحت تأثیر پیامدهای منفی قرار می‌گیرند که منجر به تهدید و انقراض گونه زرین گیاه می‌شود. در برنامه‌های احیای گونه‌هایی که ممکن است به حد آستانه تحمل اقلیمی نزدیک شوند و دامنه پراکنش آن‌ها تا سال ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با تغییر اقلیم در حال کاهش پیش‌بینی شده است، درک و پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به تعیین احتمال موفقیت برای اولویت‌بندی و احیای رویشگاه‌های حساس در میان تغییرات اقلیمی کمک کند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های معنوی دانشگاه شهرکرد قدردانی می‌شود.

بهبود مقاومت آن‌ها در رویارویی با پیامدهای تغییر اقلیم به کار رود. به طور کلی عوامل زیستی در مقیاس محلی و عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی در مقیاس منطقه‌ای برای مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای کافی و مؤثر هستند (Pearson and Dawson, 2003; Meier *et al.*, 2012). در مطالعه حاضر برای تعیین رویشگاه‌هایی با مطلوبیت عالی و خوب گونه زرین گیاه در راستای برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی از مدل‌سازی توزیع گونه استفاده شد.

رویشگاه‌های شکننده کوهستانی شایسته توجه ویژه‌ای برای برنامه‌های حفاظت و مدیریت گیاهان دارویی و نادر هستند. پژوهش حاضر نشان داد که چگونه رویکرد مدل اجماعی می‌تواند رویشگاه‌هایی با مطلوبیت عالی و خوب گونه‌ی زرین گیاه را در حال حاضر و آینده پیش‌بینی کند. از این رو می‌توان رویکرد مدل اجماعی به عنوان ابزاری مؤثر برای شناسایی رویشگاه‌های مطلوب برای گونه‌های دارویی و نادر

References

Aghajani, H., Marvie Mohadjer, M.R., Bari, E., Ohno, K.M., Shirvany, A. and Asef, M.R., 2018. Assessing the biodiversity of wood decay fungi in northern forests of Iran. *Proceedings of the National Academy of Sciences, Indica Section B: Biological Sciences*. 88, 1463-1469, <https://doi.org/10.1007/s40011-017-0887-3>.

Aghajani, H., Tajick Ghanbari, M.A. and Jalilvand, H., 2023. Biodiversity of Deadwood beech macrofungi in the Darakola educational research forest of Sari. *Ecology of Iranian Forests*. 11(22), 121-129, <https://doi.org/10.61186/ifej.11.22.121>.

Amici, V., Marcantonio, M., La Porta, N. and Rocchini, D., 2017. A multi-temporal approach in MaxEnt modelling: A new frontier for land use/land cover change detection. *Ecological Informatics*. 40, 40-49, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.04.005>.

Asase, A. and Peterson, A.T., 2019. Predicted impacts of global climate change on the geographic distribution of an invaluable African medicinal plant resource, *Alstonia boonei* De Wild. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 14, 100206, <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100206>.

Bista, R., Chhetri, P.K., Johnson, J.S., Sinha, A. and Shrestha, K.B., 2021. Climate-driven differences in growth performance of cohabitant fir and birch in a subalpine forest in Dhorpatan Nepal. *Forests*. 12(9),

منابع

1137, <https://doi.org/10.3390/f12091137>.

Brambilla, M., Caprio, E., Assandri, G., Scridel, D., Bassi, E., Bionda, R., Celada, C., Falco, R., Bogliani, G., Pedrini, P. and Rolando, A., 2017. A spatially explicit definition of conservation priorities according to population resistance and resilience, species importance and level of threat in a changing climate. *Diversity and Distributions*. 23(7), 727738, <https://doi.org/10.1111/ddi.12572>.

Burge C.A., Eakin C.M., Friedman C.S., Froelich, B., Hershberger, P.K., Hofmann, E.E., Petes, L.E., Prager, K.C., Weil, E., Willis, B.L. and Ford, S.E., 2014. Climate change influences on marine infectious diseases: implications for management and society. *Annual review of marine science*. 6, 249-277, <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135029>.

Cahyaningsih, R., Phillips, J., Brehm, J.M., Gaisberger, H. and Maxted, N., 2021. Climate change impact on medicinal plants in Indonesia. *Global Ecology and Conservation*. 30, e01752, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01752>.

Cheng, L., Lek, S., Lek-Ang, S. and Li, Z., 2012. Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*. 42(2), 127-136, <https://doi.org/10.1016/j.limno.2011.09.007>.

- Coleman, M.A., Wood, G., Filbee-Dexter, K., Minne, A.J., Goold, H.D., Vergés, A., Marzinelli, E.M., Steinberg, P.D. and Wernberg, T., 2020. Restore or redefine: Future trajectories for restoration. *Frontiers in Marine Science*. 7, 237, <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00237>.
- Elith, J. and Franklin, J., 2013. Species distribution modeling. In: Levin, S.A. (Eds.) *Encyclopedia of Biodiversity*, Second ed. Waltham, MA: Academic Press, pp. 692-705.
- Fick, S.E. and Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 37, 4302-4315, <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- Franklin, J., 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, USA, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511810602>.
- Gaisberger, H., Legay, S., Andre, C., Loo, J., Azimov, R., Aaliev, S., Bobokalonov, F., Mukhsimov, N., Kettle, C. and Vinceti, B., 2020. Diversity under threat: connecting genetic diversity and threat mapping to set conservation priorities for *Juglans regia* L. populations in Central Asia. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 8, 1-17, <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00171>.
- Ghehsareh Ardestani, E. and Heidari Ghahfarrokhi, Z., 2021. Ensemble species distribution modeling of *Salvia hydrangea* under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains Iran. *Glob. Ecol. Conserv.* 26, e01488, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01488>.
- Ghehsareh Ardestani, E., Rigi, H. and Honarbaksh, A., 2021. Predicting optimal habitats of *Haloxylon persicum* for ecosystem restoration using ensemble ecological niche modeling under climate change in southwest Iran. *Restoration Ecology*. 29 (6), e13492, <https://doi.org/10.1111/rec.13492>.
- Heydari, R., Khodahholi, M. and Zarean, M., 2015. Bioclimatic zoning of *Teucrium orientale* in Isfahan province using multivariable statical methods and GIS (Geographical Information System). *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 31(4), 637-650, <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.102681>. (In Persian with English abstract).
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 25(15), 1965-1978, <https://doi.org/10.1002/joc.1276>.
- Kaky, E. and Gilbert, F., 2019. Allowing for human socioeconomic impacts in the conservation of plants under climate change. *Plant Biosyst.* 154(3), 295-305, <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1610109>.
- Karami, S., Ejtehadi, H., Moazzeni, H., Vaezi, J. and Behroozian, M., 2022. Minimal climate change impacts on the geographic distribution of *Nepeta glomerulosa*, medicinal species endemic to southwestern and central Asia. *Sci. Rep.* 12, 19893, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24524-8>.
- Kunwar, R.M., Thapa-Magar, K.B., Subedi, S.C., Kutal, D.H., Baral, B., Joshi, N.R., Adhikari, B., Upadhyaya, K.S., Thapa-Magar, S., Ansari, A.S., Thapa, G.J. and Bhandari, A. R., 2023. Distribution of important medicinal plant species in Nepal under past, present, and future climatic conditions. *Ecological Indicators*. 146, 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109879>.
- Lal, M., Samant, S.S., Kumar, R., Sharma, L., Paul, S., Dutt, S., Negi, D. and Devi, K., 2020. Population ecology and niche modelling of endangered *Arnebia euchroma* in Himachal Pradesh, India-An approach for conservation. *Medicinal Plants-International Journal of Phytomedicines and Related Industries*. 12 (1), 90-104, <https://doi.org/10.5958/0975-6892.2020.00013.1>.
- Lee, C.O., Arge, C.N., Odstril, D., Millward, G., Pizzo, V., Quinn, J.M. and Henney, C.J., 2013. Ensemble modeling of CME Propagation. *Solar Physics*. 285(1-2), 349 368, <https://doi.org/10.1007/s11207-012-9980-1>.
- Lin, C.T. and Chiu, C.A., 2019. The relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. (Trochodendraceae) in Taiwan: ensemble distribution modeling and climate change impacts. *Forests*. 10(7), 1-11, <https://doi.org/10.3390/f10010007>.
- Meier, E.S., Lischke, H., Schmatz, D.R. and Zimmermann, N.E., 2012. Climate, competition and connectivity affect future migration and ranges of European trees. *Global Ecology and Biogeography*. 21(2), 164-178, <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00669.x>.
- Mohapatra, J., Singh, C.P., Hamid, M., Verma, A., Semwal, S.C., Gajmer, B., Khuroo, A.A., Kumar, A., Nautiyal, M.C., Sharma, N. and Pandya, H.A., 2019. Modelling *Betula utilis* distribution in response to climate-warming scenarios in Hindu-Kush Himalaya using random forest. *Biodiversity and Conservation*. 28 (8), 2295-2317, <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01731-w>.
- Naghypour Borj, A.S., Haidari Aghakhani, M. and 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, <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1398.32.3.8.5>. (In Persian with English abstract).
- Norberg, A., Abrego, N., Blanchet, F.G., Adler, F.R., Anderson, B.J., Anttila, J., Araujo, M.B., Dallas, T., Dunson, D., Elith, J., Foster, S.D., Fox, R., Franklin, J., Godsoe, W., Guisan, A., O'Hara, B., Hill, N.A.,

- Holt, R.D., Hui, F.K., C., Husby, M., Kalas, J.A., Lehtikoinen, A., Luoto, M., Mod, H.K., Newell, G., Renner, I., Roslin, T., Soiminen, J., Thuiller, W., Vanhatalo, J., Warton, D., White, M., Zimmermann, N.E., Gravel, D. and Ovaskainen, O., 2019. A comprehensive evaluation of predictive performance of 33 species distribution models at species and community levels. *Ecological Monographs*. 89(3), e01370, <https://doi.org/10.1002/ecm.1370>.
- Noroozi, J., Talebi, A., Doostmohammadi, M., Manafzadeh, S., Asgarpour, Z. and Schneeweiss G.M., 2019. Endemic diversity and distribution of the Iranian vascular flora across phytogeographical regions, biodiversity hotspots and areas of endemism. *Sci. Rep.* 9, 12991, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49417-1>.
- Otroshy, M. and Moradi, K., 2012. Effect of explants and growth regular on direct organogenesis of *Dracocephalum kotschy* Boiss. Via tissue culture technique. *Herbal gruges*. 3(3), 127-133. (In Persian with English abstract).
- Pearson, R.G. and Dawson, T.P., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecology and Biogeography*. 12(5), 361-371, <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>.
- Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M. and Chirici, G., 2019. Species distribution modelling to support forest management. A literature review. *Ecological Modelling*. 411, 810-817, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817>.
- Pressey, R.L., Cabeza, M., Watts, M.E., Cowling, R.M. and Wilson, K.A., 2007. Conservation planning in a changing world. *Trends in ecology & evolution*. 22(11), 583-592, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.10.001>.
- Rechinger, H., 1986. *Labiatae in Flora Iranica*. Akademische Druck Verlagsantalt, Graz, Austria.
- Robiansyah, I., 2018. Assessing the impact of climate change on the distribution of endemic subalpine and alpine plants of new Guinea. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*. 40(3), 701-709, <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2018.66>.
- Salas, E.A.L., Valdez, R., Michel, S. and Boykin, K.G., 2018. Habitat assessment of Marco Polo sheep (*Ovis ammon polii*) in Eastern Tajikistan: Modeling the effects of climate change. *Ecology and Evolution*. 8(10), 5124-5138, <https://doi.org/10.1002/ece3.4103>.
- Tang, C.Q., Dong, Y.F., Herrando-Moraira, S., Matsui, T., Ohashi, H., He, L.Y., Nakao, K., Tanaka, N., Tomita, M., Li, X.S. and Yan, H.Z., 2017. Potential effects of climate change on geographic distribution of the tertiary relict tree species *Davidia involucreta* in China. *Scientific Reports*. 7, 43822, <https://doi.org/10.1038/srep43822>.
- Tarkesh, M. and Jetschke, G., 2016. Investigation of current and future potential distribution of *Astragalus gossypinus* in Central Iran using species distribution modelling. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(1), 1-11, <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2071-5>.
- Thuiller, W., 2007. Biodiversity: Climate Change and the Ecologist. *Nature*. 448, 550-552, <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2071-5>.
- Vincent, H., Amri, A., Castañeda Alvarez, N.P., Dempewolf, H., Dulloo, E., Guarino, L., Hole, D., Mba, C., Toledo, A. and Maxted, N., 2019. Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation. *Communications Biology*. 2 (1), 136, <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0372-z>.
- Wang, H., Shao, X., Jiang, Y., Fang, X. and Wu, S., 2013. The impacts of climate change on the radial growth of *Pinus koraiensis* along elevations of Changbai Mountain in northeastern China. *Forest Ecology and Management*. 289, 333-340, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.023>.
- Wei, B., Wang, R., Hou, K., Wang, X. and Wu, W., 2018. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China. *Global Ecology and Conservation*. 16, e00477, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477>.
- West, A., Kumar, S., Brown, C., Stohlgren, T. and Bromberg, J., 2016. Field validation of an invasive species Maxent model. *Ecological Informatics*. 36, 126-134, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.11.001>.
- Yang, X.Q., Kushwaha, S.P.S., Saran, S., Xu, J. and Roy, P.S., 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*. 51, 83-87, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.004>.
- Zellmer, A.J., Claisse, J.T., Williams, C.M., Schwab, S. and Pondella, D.J., 2019. Predicting optimal sites for ecosystem restoration using stacked-species distribution modeling. *Frontiers in Marine Science*. 6, 3, <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00003>.
- Zhang, K., Yao, L., Meng, J. and Tao, J., 2018. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. *Science of the Total Environment*. 634, 1326-1334, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.112>.

