

## پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش گیاهان دارویی *Echium amoenum* و *Echium italicum* در ایران

فرزانه خواجه‌نئی نسب<sup>۱</sup>، احمدرضا محرابیان<sup>۲\*</sup> و اکبر نعمتی پرشکوه<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲)

### چکیده

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی با ارزش و در معرض خطر، امری ضروری در جهت حفاظت و مدیریت آن‌ها به‌شمار می‌آید. در این پژوهش، از مدل آنتروپی بیشینه (MaxEnt) و ۱۰ متغیر محیطی برای پیش‌بینی پراکنش فعلی و آینده گونه‌های *E. amoenum* و *E. italicum* در پاسخ به تغییر اقلیم استفاده شد. همچنین برای پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم در آینده (دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) از دو سناریوی اقلیمی PCR 2.6 و PCR 8.5 تحت مدل گردش عمومی CCSM4 استفاده شد. ارزیابی صحت مدل‌ها بر اساس شاخص *Area under the curve* (AUC) بیانگر عملکرد عالی (۰/۹ <) آنها است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه *E. amoenum*، شیب (۳۸/۸٪)، دامنه سالیانه دما (۱۱/۵٪) و میزان بارش در خشک‌ترین فصل (۳۱/۹٪) هستند. همچنین میزان تابش نورخورشید (۳۷/۶٪)، شیب (۳۶/۴٪) و دمای متوسط سردترین فصل (۱۱/۵٪) از مهمترین فاکتورهای محیطی موثر بر پراکنش گونه *E. italicum* به‌شمار می‌آیند. به علاوه نتایج نشان می‌دهد که پراکنش گونه‌های مورد مطالعه در پاسخ به تغییر اقلیم و تحت سناریوهای انتشار RCP2.6 و RCP8.5 در دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ کاهش خواهند یافت. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش بر لزوم تعیین راهبردهای حفاظتی به منظور جلوگیری از انقراض این گونه‌ها تأکید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل آنتروپی بیشینه، گاوزبانیان، حفاظت، مدلسازی پراکنش گونه‌ای

۱. دانش‌آموخته دکتری سیستماتیک گیاهی، گروه علوم و زیست فناوری گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی مرتبه علمی دانشیار، گروه علوم و زیست فناوری گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. دانشجوی دکتری سیستماتیک-اکولوژی گیاهی، گروه علوم و زیست فناوری گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: A\_mehrabian@sbu.ac.ir

## مقدمه

اقلیم یکی از اصلی‌ترین عوامل ایجاد تنوع و انتشار گونه‌های گیاهی است که بر ویژگی‌های کارکردی و فنولوژیکی آنها نیز اثر می‌گذارد (۱، ۳۱، ۴۹ و ۶۴). مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی الگوی پراکنش و غنای گونه‌های بسیاری از گروه‌های گیاهی را تغییر می‌دهد (۴۴). بنابراین، شناسایی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی، گام مهمی در تعیین استراتژی‌های حفاظتی به شمار می‌آید. گیاهان اصلی‌ترین جزء اکوسیستم‌ها هستند که متأسفانه امروزه به دلیل اقدامات نسنجیده انسان با طبیعت پیرامون خود روند انقراض گونه‌های آنها، با سرعت بسیار نگران‌کننده‌ای افزایش یافته است. شواهد متعدد حاکی از به وقوع پیوستن انقراض ششم یا مدرن در قرن‌های اخیر می‌باشند، متأسفانه گزارش‌های رسمی محدود و ناقصی پیرامون انقراض گونه‌ها وجود دارد (۳۲). از سال ۱۹۰۰، سالانه تقریباً سه گونه از گیاهان دانه‌دار ناپدید شده‌اند که این نرخ ۵۰۰ برابر سریعتر از نرخ طبیعی انقراض گونه‌ها است (۳۹).

گیاهان از جمله منابع ارزشمند جهانی در زمینه تولید داروهای جدید هستند. همچنین طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی بیش از ۸۰٪ از مردم در کشورهای در حال توسعه برای مراقبت‌های بهداشتی اولیه خود کاملاً وابسته به داروهای گیاهی هستند (۱۴ و ۵۴). بنابراین با افزایش تقاضا برای داروهای گیاهی، محصولات بهداشتی طبیعی و متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی، استفاده از گیاهان به سرعت در سراسر جهان در حال افزایش است. افزایش تقاضا برای استفاده از گیاهان دارویی و توجه علمی و تجاری به آنها سبب شده است که برداشت‌های بی‌رویه زیادی از جمعیت‌های این گیاهان با ارزش صورت بگیرد. برداشت‌های بی‌رویه از گیاهان دارویی، تغییرات اقلیمی دو دهه اخیر، تخریب زیستگاه‌ها توسط عوامل انسانی، آتش‌سوزی، خشکسالی و چرای بی‌رویه دام باعث شده که جمعیت‌های زیادی از گونه‌های گیاهان دارویی در معرض خطر انقراض قرار بگیرند. به علاوه تغییرات اقلیمی

برروی ترکیبات دارویی، مواد مؤثره و متابولیت‌های ثانویه گیاهان نیز اثر می‌گذارد (۲۹). از سوی دیگر تعدد گونه‌های گیاهی و وسیع بودن عرصه انتشار بسیاری از آنها و همچنین محدودیت بودجه، زمان و امکانات سبب شده که امکان ارزیابی از نزدیک همه رویشگاه‌ها وجود نداشته باشد. بنابراین، زیست‌شناسان حفاظتی رویکردهای جدیدی برای بررسی اولویت‌های حفاظت از گونه‌های مختلف جانداران پیشنهاد می‌دهند. مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Species Distribution Models) یا به اختصار SDMs از جمله رویکردهای نوین در بوم‌شناسی، جغرافیای زیستی و زیست‌شناسی حفاظت هستند که عموماً به بررسی پراکنش گونه‌ها در پاسخ به تغییرات محیطی و شناسایی عوامل مؤثر بر پراکنش آنها می‌پردازند (۲۳ و ۳۳). این مدل‌ها در واقع می‌توانند با استفاده از الگوریتم‌های رایانه‌ای روابط تجربی بین پراکنش گونه و داده‌های محیطی را بررسی و پراکنش بالقوه آن را تخمین زده و پیش‌بینی کنند (۵۸).

ایران یکی از مراکز مهم تنوع گیاهی (۴) و بومزادی (۳۷) و (۵۱) در جنوب غرب آسیا می‌باشد که گونه‌های دارویی متعددی از آن گزارش شده است (۵۳). علیرغم اهمیت گیاهان دارویی، مطالعات معدودی در رابطه با حفاظت از این گروه گیاهی با ارزش که تعداد بسیاری از آنها انحصاری ایران هستند، در کشور صورت گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به مدلسازی آشیان اکولوژیک اکولوژیک گونه‌های *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. *Achillea millefolium* L. (۱۱)، *Ferula ovina* (Boiss.) Boiss. (۶۷)، و *Salvia hydrangea* DC. Ex Benth. (۳۰) اشاره کرد. گاوزبان ایرانی با نام علمی *Echium amoenum* L. و گاوزبان ایتالیایی با نام علمی *Echium italicum* L. از جمله گونه‌های باارزش دارویی از تیره گاوزبانیان (Boraginaceae) هستند که به‌طور طبیعی در کشور ایران انتشار دارند. *E. amoenum* گیاهی است که از دیرباز در طب سنتی ایران برای درمان بسیاری از بیماری‌ها مورد استفاده قرار گرفته است و ضد اضطراب، آرام‌بخش، ضد التهاب و ضد درد می‌اشد و در درمان

سرمایه‌خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰). گونه *E. amoenum* در قسمت‌های محدودی در شمال و شمال غرب ایران و قفقاز پراکنش دارد. مطالعات اتنوبوتانی (Ethnobotany) و اتنوفارماکولوژی (Ethnopharmacology) در ایران نشان می‌دهند که این گونه به‌طور گسترده‌ای توسط مردم بومی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳، ۴۱ و ۶۶). به‌علاوه *E. italicum* گونه دارویی با ارزش دیگری است که در شمال، شمال غرب، غرب و منطقه محدودی در شمال شرق ایران پراکنش دارد. این گونه نیز به‌عنوان دمنوش و به‌طور سنتی در درمان بیماری‌های مختلف استفاده می‌شود (۸ و ۱۹). همچنین مطالعات بالینی بسیاری اثربخشی این گونه‌ها را در درمان بیماری‌های مختلف تأیید می‌کنند (۳۵، ۳۸ و ۶۸). برداشت‌های بی‌رویه، تخریب زیستگاه‌ها و چرای بی‌رویه دام به شدت این گونه را تهدید می‌کنند. این در حالی است که تغییرات اقلیمی تشدیدکننده‌ی این فرآیندهای منفی می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهند که پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آینده در ایران بسیار شدید خواهد بود و کشور با افزایش ۲/۶ درجه سانتیگراد در میانگین دما و ۳۵ درصد کاهش بارندگی روبرو خواهد شد (۵۸) که این مسأله بر ضرورت انجام این پژوهش تأکید می‌کند. اهداف اصلی این مطالعه عبارتند از بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌های *E. amoenum* و *E. italicum* در آینده، تعیین مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه‌ها و ارائه راهکارهای مدیریتی در جهت حفاظت از این گونه‌های با ارزش از منظر تنوع زیستی و گیاهان دارویی.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

ایران با مساحت ۱,۶۴۸,۱۹۵ کیلومتر مربع از جمله پهناورترین کشورهای خاورمیانه به‌شمار می‌آید که در عرض جغرافیایی ۵۲ تا ۴۱ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی واقع شده است. این کشور سرزمینی کوهستانی است که شامل چندین رشته‌کوه اصلی زاگرس، البرز، کپت داغ، مکران و رشته

کوه‌های داخلی پراکنده است. بقیه قسمت‌های این سرزمین شامل بیابان‌های داخلی، دشت‌های پست و مناطق ساحلی دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان است که توسط کوهستان‌ها احاطه شده‌اند. ارتفاع در داخل ایران از ۲۷- متر در حوضه خزر تا ۵۶۷۱ متر در قله دماوند است. از منظر اقلیم شناسی، اقلیم زیستی معتدل، مدیترانه‌ای و گرمسیری بر ایران حاکم هستند (۲۱). همچنین، ایران در کمربند خشک جهانی واقع شده است به شکلی که بخش مرکزی فلات ایران به‌واسطه احاطه شدن با سدهای کوهستانی گسترده رطوبت پایینی را دریافت می‌کند به شکلی که میانگین بارندگی سالیانه در حدود ۲۵۰ میلی‌متر (۱/۳ متوسط بارندگی سالیانه جهانی) می‌باشد (۶۹). بر اساس رده‌بندی اقلیم شناسی زیستی جهان، کشور ایران متأثر از اقلیم زیستی معتدله (دامنه‌های شمالی البرز و منطقه ارسباران، رشته‌کوه‌های البرز)، اقلیم زیستی مدیترانه‌ای (زاگرس و سایر رشته‌کوه‌های شمال غرب، داخلی و جنوب شرق ایران) و اقلیم گرمسیری (نوار ساحلی خلیج فارس و دریای عمان و مناطق کم ارتفاع جنوب کشور) می‌باشد (۲۱).

### گونه‌های مورد مطالعه

گونه *E. amoenum* گیاهی دو یا چندساله با ریشه‌ی ضخیم و ساقه‌های متعدد به طول ۲۰ تا ۸۰ سانتیمتر می‌باشد (۴۶). برگ‌های قاعده‌ای و ساقه‌ای این گیاه نیزه‌ای شکل بوده و پوشیده از کرک‌های رویهم خوابیده هستند. جام گل در این گونه درشت و طول آن ۲۵ تا ۴۰ میلیمتر است و پرچم‌ها از جام گل خارج نشده‌اند. فصل گلدهی گونه *E. amoenum* در اواخر بهار تا اواخر تابستان است و غالباً در رویشگاه‌های خزری یافت می‌شود. پراکنش این گونه در مناطق کوهستانی، حاشیه رودخانه‌ها و تپه‌ها است (۴۶).

گونه *E. italicum* گیاهی دوساله با ساقه‌های افراشته متعدد به طول ۲۰ تا ۹۰ است (۴۶). در این گونه برگ‌های قاعده‌ای نواری نیزه‌ای هستند در حالی که برگ‌های ساقه‌ای نیزه‌ای بوده و پوشیده از کرک‌های زبر با قاعده برجسته هستند. جام گل

پژوهش معادل یک کیلومتر است. همچنین جهت تکمیل پایگاه اطلاعاتی حضور گونه‌ها از داده‌های موجود در فلور ایران (۴۶) و فلور ایرانیکا (۶۳) استفاده گردید. نهایتاً ۲۹ و ۳۰ نقطه حضور برای گونه *E. amoenum* و *E. italicum* به‌ترتیب گردآوری شد. داده‌های مکانی گونه‌ها وارد محیط نرم‌افزار اکسل شده و با فرمت csv ذخیره گردید (شکل ۱). همچنین برای ساخت مدل‌ها از ۷۵٪ داده‌ها به صورت تصادفی به عنوان داده‌های آموزشی و ۲۵٪ آنها به عنوان داده‌های تست استفاده شد.

### متغیرهای محیطی

در این پژوهش، در ابتدا ۱۳ متغیر مهم محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های مورد مطالعه براساس دانش اکولوژیکی ما از این گونه‌ها انتخاب شدند که به قرار زیر است: حداقل دمای سردترین ماه سال (BIO6)، دامنه تغییرات سالیانه دما (BIO7) (BIO6 - BIO5)، متوسط دمای مرطوب‌ترین فصل (BIO8)، دمای متوسط سردترین فصل (BIO11)، میانگین بارش سالیانه (BIO12)، بارش در خشک‌ترین فصل (BIO17)، بارش در سردترین فصل (BIO19)، جهت شیب (Aspect)، درصد شیب (Slope)، میزان تابش نور خورشید در ماه (radiationSolar)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، میزان ذرات شن خاک (Sand) و درصد ذرات رس خاک (Clay) است. داده‌های اقلیمی از پایگاه داده‌های اقلیمی Chelsa به نشانی <https://chelsa-climate.org> استخراج شدند این پایگاه شامل ۱۹ متغیر اقلیمی (از سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۳) است (۴۳). همچنین متغیرهای توپوگرافی از قبیل جهت و درصد شیب و همچنین میزان تابش نور خورشید در ماه از لایه‌های رستری موجود در وبسایت [www.worldgrids.org](http://www.worldgrids.org) به دست آمدند. جهت تهیه متغیرهای مربوط به ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک از پایگاه شبکه‌ای جهانی خاک (SoilGridsTM) استفاده شد. اطلاعات مربوط به این پایگاه در وبسایت <https://www.isric.org> قرار دارند. همبستگی بین متغیرها با استفاده از یکی از متداول‌ترین ضرایب همبستگی یعنی ضریب همبستگی پیرسون با برنامه نویسی در محیط

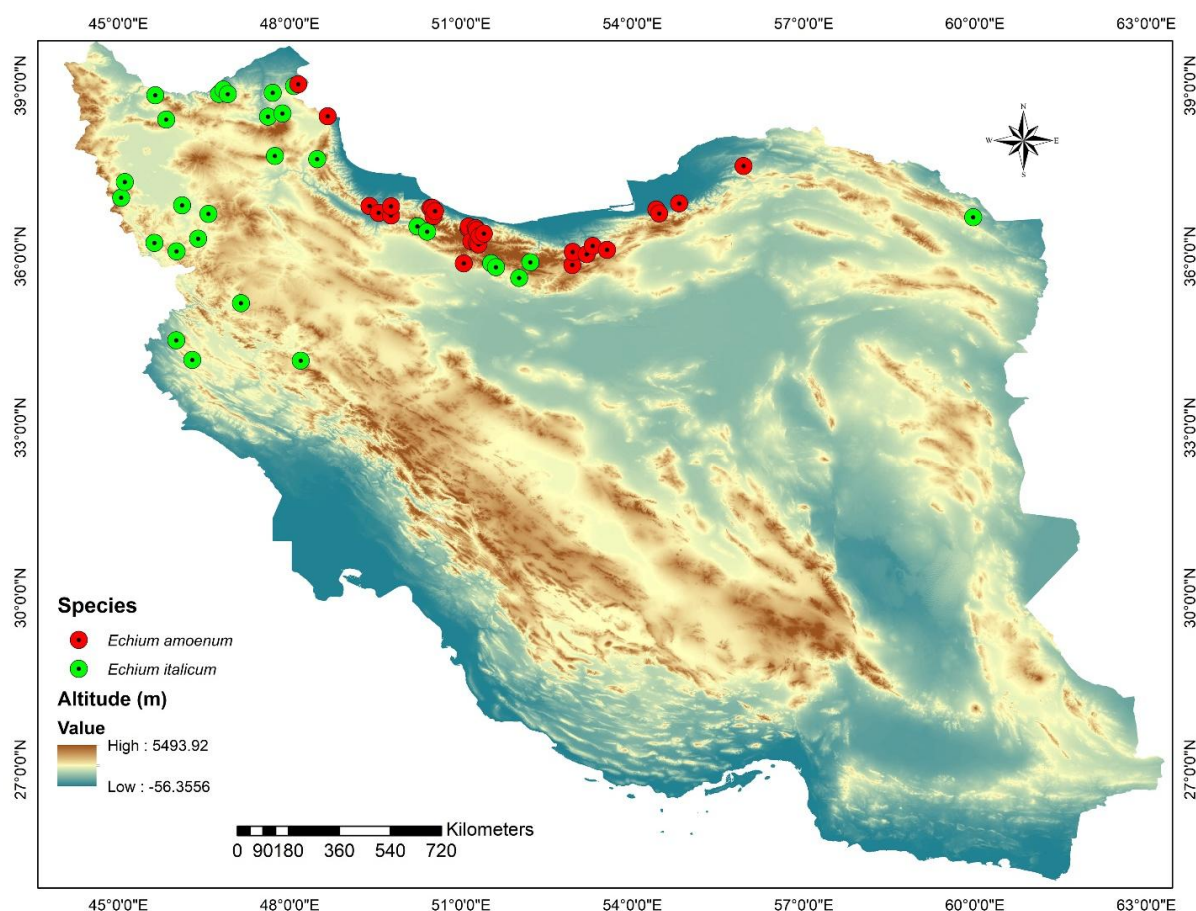
قیفی باریک و به طول ۱۰ تا ۲۰ میلیمتر است و پرچم‌ها از جام گل بیرون زده‌اند. زمان گلدهی این گونه در اواخر تابستان است و در منطقه ایران-تورانی یافت می‌شود. پراکنش این گونه در مزارع، تپه‌های لیمونی و مناطق مخروبه است (۴۶).

### داده‌های لازم جهت انجام مدلسازی پراکنش گونه‌ای

جهت انجام مطالعات مدلسازی پراکنش گونه‌ای در این پژوهش به داده‌های مکانی مربوط به نقاط حضور گونه‌ها و متغیرهای محیطی نیاز است که نحوه گردآوری و تهیه آنها در ادامه آمده است.

### گردآوری سوابق حضور گونه‌ها در ایران

در ابتدا عرصه پراکنش جغرافیایی گونه‌ها با استفاده از فلورهای ایران (۴۶)، ایرانیکا (۶۳) در ایران مشخص شد. این دو فلور به عنوان منابع مهم در زمینه گیاه‌شناسی، اطلاعات ارزشمندی در زمینه پراکنش جغرافیایی گونه‌های مورد مطالعه ارائه می‌دهند. پس از بررسی فلورها و منابع موجود نمونه‌برداری بر مبنای تنوع زیستگاه‌ها انجام شد. بررسی تنوع زیستگاه‌ها مبتنی بر طبقه‌بندی ژئومورفولوژی ایران (۵)، سازندهای زمین‌شناسی ایران (Ministry of Industries and Mines Geological Survey of Iran)، آمار و اطلاعات هواشناسی (بارندگی و دما در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۷) بود. جمع‌آوری اطلاعات در بسیاری از مناطق گزارش شده برای این گونه‌ها در استان‌های گیلان، مازندران، گرگان، همدان، تهران، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۷ انجام گردید. نمونه‌برداری‌ها بصورت پیمایشی و بر اساس زمان گلدهی تا میوه‌دهی گونه‌ها از اواسط فروردین تا اواسط مرداد ماه در فواصل هر ۱۰ روز یک‌بار انجام شد تا بازه فنولوژیک این گونه‌ها را پوشش دهد. در هر ایستگاه نمونه‌برداری براساس پیمایش در طول شیب ارتفاعی و استقرار پلات در هر ایستگاه به روش سیستماتیک-تصادفی انجام شد (۵۵). برای جلوگیری از خود همبستگی مکانی (Spatial autocorrelation) داده‌ها، داده‌های مکانی با بیش از یک کیلومتر فاصله جهت انجام این مطالعه انتخاب شدند به دلیل اینکه اندازه پیکسل متغیرهای محیطی مورد استفاده در این



شکل ۱. نقشه توپوگرافی و نقاط حضور گونه‌های *Echium italicum* و *Echium amoenum* در ایران

نرم افزار R v3.2.3 مورد بررسی قرار گرفت (۶۲). سپس از جفت متغیری که دارای همبستگی بالاتر از ۷۰ درصد بودند یک متغیر بنا به نظر کارشناسی حذف گردید (۹ و ۷۲). در نهایت ۱۰ متغیر برای انجام فرآیند مدلسازی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱).

همچنین از مدل‌های گردش عمومی جو (General Circulation Model) برای بررسی اثرات تغییر اقلیم آینده بر پراکنش گونه‌های مورد مطالعه استفاده گردید. مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌هایی هستند که با شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین، تغییرات اقلیمی را پیش‌بینی می‌کنند و بر مبنای پیش‌بینی اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای بر افزایش دمای کره زمین استوار هستند (۴۰). این پیش‌بینی‌ها براساس سناریوهای انتشار (RCP: Representative Concentration)

نرم افزار R v3.2.3 مورد بررسی قرار گرفت (۶۲). سپس از جفت متغیری که دارای همبستگی بالاتر از ۷۰ درصد بودند یک متغیر بنا به نظر کارشناسی حذف گردید (۹ و ۷۲). در نهایت ۱۰ متغیر برای انجام فرآیند مدلسازی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱).

همچنین از مدل‌های گردش عمومی جو (General Circulation Model) برای بررسی اثرات تغییر اقلیم آینده بر پراکنش گونه‌های مورد مطالعه استفاده گردید. مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌هایی هستند که با شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین، تغییرات اقلیمی را پیش‌بینی می‌کنند و بر مبنای پیش‌بینی اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای بر افزایش دمای کره زمین استوار هستند (۴۰). این پیش‌بینی‌ها براساس سناریوهای انتشار (RCP: Representative Concentration)

جدول ۱. ماتریس همبستگی متغیرهای محیطی مورد استفاده در پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های

*Echium amoenum* و *Echium italicum* در ایران: جهت شیب (asp)، دمای متوسط سردترین فصل (bio11)، میانگین بارش سالیانه (bio12)، بارش در خشک‌ترین فصل (bio17)، بارش در سردترین فصل (bio19)، حداقل دمای سردترین ماه سال (bio6)، دامنه تغییرات سالیانه دما (bio7)، متوسط دمای مرطوب‌ترین فصل (bio8)، درصد شیب (slope)، میزان تابش نور خورشید در ماه (radiation solar)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (cecs)، میزان ذرات شن خاک (sand) و درصد ذرات رس خاک (cly).

	asp	bio11	bio12	bio17	bio19	bio6	bio7	bio8	cecs	cly	sand	slope	solar
asp	۱												
bio11	-۰/۳۵	۱											
bio12	۰/۳۷۲	-۰/۳۱	۱										
bio17	۰/۲۷۱	-۰/۰۹	۰/۵۸۱	۱									
bio19	۰/۲۲۲	-۰/۰۳	۰/۸۲۲	۰/۱۷	۱								
bio6	-۰/۲۹	۰/۹۸	-۰/۲۸	۰/۰۲	-۰/۵	۱							
bio7	-۰/۱۶	-۰/۳۵	-۰/۱۷	-۰/۵۳	-۰/۵	-۰/۵	۱						
bio8	-۰/۲۶	۰/۸۸	-۰/۱۹	۰/۱۶	-۰/۱	۰/۸۹۵	-۰/۴۳	۱					
cecs	۰/۳۱۶	-۰/۴	۰/۵۱۱	۰/۱۳	۰/۴۲	-۰/۳۹	۰/۰۷	-۰/۳۳	۱				
cly	۰/۳۳۲	-۰/۴۸	۰/۶۵۶	۰/۲۳	۰/۵۸	-۰/۵	۰/۰۳	-۰/۴۵	۰/۶۱	۱			
sand	-۰/۳۶	۰/۴۷	-۰/۶۹	-۰/۲۶	-۰/۶	۰/۴۷۲	-۰/۰۲	۰/۴۱	-۰/۵۸	-۰/۹۱	۱		
slope	۰/۵۱۱	-۰/۳۳	۰/۲۷۸	۰/۲۱	۰/۱۶	-۰/۲۶	-۰/۲۱	-۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۲۲	-۰/۲۳۹	۱	
solar	-۰/۳۱	۰/۶۷	-۰/۵۲	-۰/۲۶	-۰/۲	۰/۷۲۹	-۰/۳۱	۰/۵۵۳	-۰/۴۷	-۰/۴۷	۰/۵۳۶	-۰/۲۱۱	۱

همچنین دارای یک جزء ترکیبی مرکزی است که به محققان اجازه می‌دهد تا تحقیقات اساسی در مورد وضعیت اقلیمی گذشته، حال و آینده زمین انجام دهند (۲۸). این مدل‌های اقلیمی در پایگاه اطلاعاتی تغییر اقلیم، کشاورزی و امنیت غذایی به نشانی <http://www.ccafs-climate.org> قرار دارند و از متداول‌ترین پروژه‌های اقلیمی GCMs هستند که در گزارش ارزیابی پنجم IPCC از آنها استفاده شده است (۴۵). همچنین از نرم افزار ArcGIS 9.3 برای آماده سازی متغیرهای محیطی استفاده شد و این متغیرها با فرمت ASCII ذخیره گردیدند. اندازه پیکسل کلیه لایه‌های متغیرهای محیطی مورد استفاده در این پژوهش 30 arc (حدود ۹۲۳ متر) است.

۱۳۱۳ ppm محاسبه شده است که واداشت تابشی ۸/۵ وات بر متر مربع را در سال ۲۱۰۰ در پی خواهد داشت (۴۰). مدل‌گردش عمومی جو CCSM4 (Community Climate System Model) و سناریوهای خوش بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) برای بررسی شرایط اقلیمی در دهه‌های ۲۰۵۰ (میان سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰) و ۲۰۷۰ میلادی (۲۰۸۰-۲۰۶۱) استفاده گردید. مدل CCSM4 از جمله مناسب‌ترین مدل‌های گردش عمومی جو در خاورمیانه به‌شمار می‌آید و توسط مرکز هواشناسی آمریکا تدوین شده است. این مدل متشکل از پنج مدل مجزا است که به‌طور همزمان جو زمین، اقیانوس، سطح زمین و یخ دریا را شبیه‌سازی می‌کنند، و

## انجام فرآیند مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای

در این پژوهش، از مدل آنترپی بیشینه (MaxEnt) برای پیش‌بینی پراکنش فعلی و آینده گونه‌های مورد مطالعه استفاده شد (۶۰). داده‌های مکانی مربوط به مدل‌سازی پراکنش مورد مطالعه شامل مجموعه‌ای از داده‌های فقط حضور است بنابراین، در این پژوهش از میان مدل‌های پراکنش گونه‌ای مختلف، مدل MaxEnt جهت مدل‌سازی گونه‌های مورد مطالعه ترجیح داده می‌شود زیرا ورودی آن فقط داده‌های حضور است و حتی برای تعداد نقاط حضور کم نیز پیش‌بینی آن قوی و دقیق است (۲۴). همچنین این مدل امروزه به طور گسترده‌ای در مطالعات مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای استفاده می‌شود (۲۲ و ۲۷). نقشه‌های پراکنش گونه‌ها با استفاده از نرم افزار MaxEnt 3.4.4 ver. و ۱۰۲۴ نقطه پس‌زمینه (Background) و براساس ۱۰ مرتبه اجرای مدل‌سازی و ۱۰۰۰ تکرار رسم گردیدند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از سطح زیرمنحنی (AUC) استفاده شد. نمودار ROC در واقع از رسم دو محور x و y به دست می‌آید که محور x، صحت عدم حضور پیش‌بینی شده (1-Specificity) و محور y، صحت حضور پیش‌بینی شده (Sensitivity) را نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{Sensitivity} = \frac{a}{a+b}$$

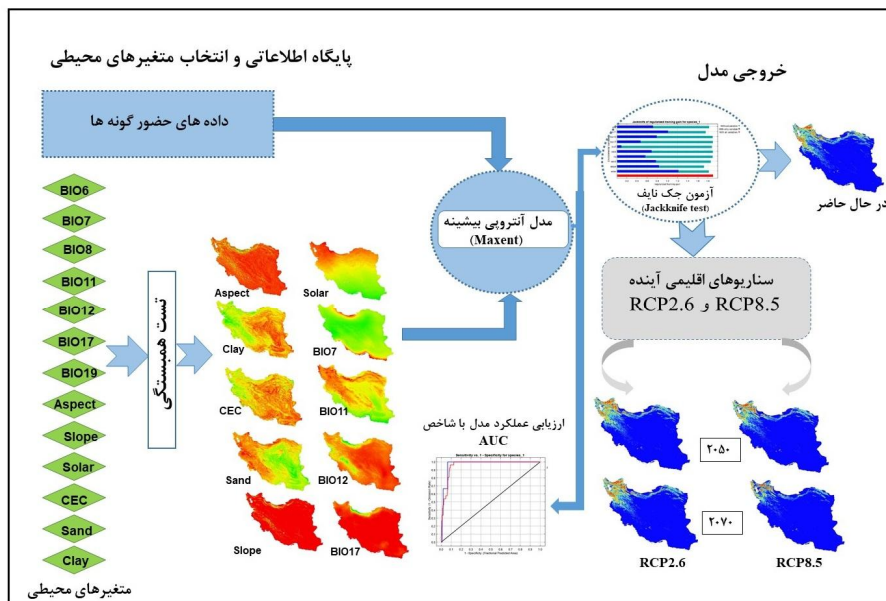
$$\text{Specificity} = \frac{d}{d+c}$$

a, b, c و d به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر مثبت حقیقی، مثبت کاذب، منفی کاذب و منفی حقیقی هستند (۷۱). مقدار AUC بین ۰ و ۱ است و مقدار AUC برابر با ۰/۵، بیانگر تصادفی بودن مدل و ۱، نشان‌دهنده عملکرد بالای آن هستند (۷۰). همچنین مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌ها توسط آزمون جک نایف (Jackknife test) مشخص شدند. نتایج حاصل از این آزمون شامل سه بخش است که این سه بخش عبارتند از: نتایج آزمون با در نظر گرفتن تمام متغیرها، فقط متغیر مورد نظر، و بدون آن متغیر.

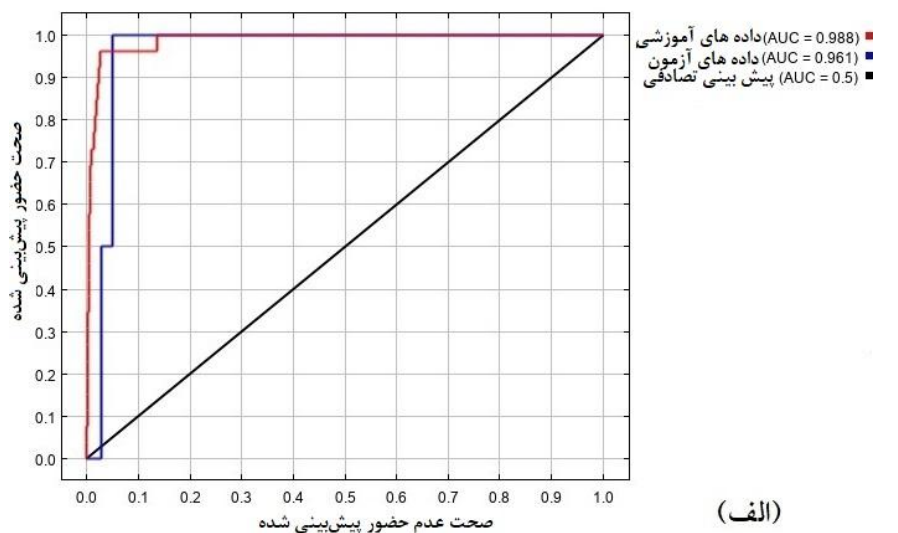
## نتایج

مقدار AUC برای داده‌های آموزشی (Training data) برای گونه‌های *E. italicum* و *E. amoenum* به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۰/۹۷ و برای داده‌های آزمون (Test data) برابر با ۰/۹۶ و ۰/۸۹ است که بیانگر عملکرد عالی مدل برای گونه‌های مورد مطالعه است (شکل ۳ الف و ب).

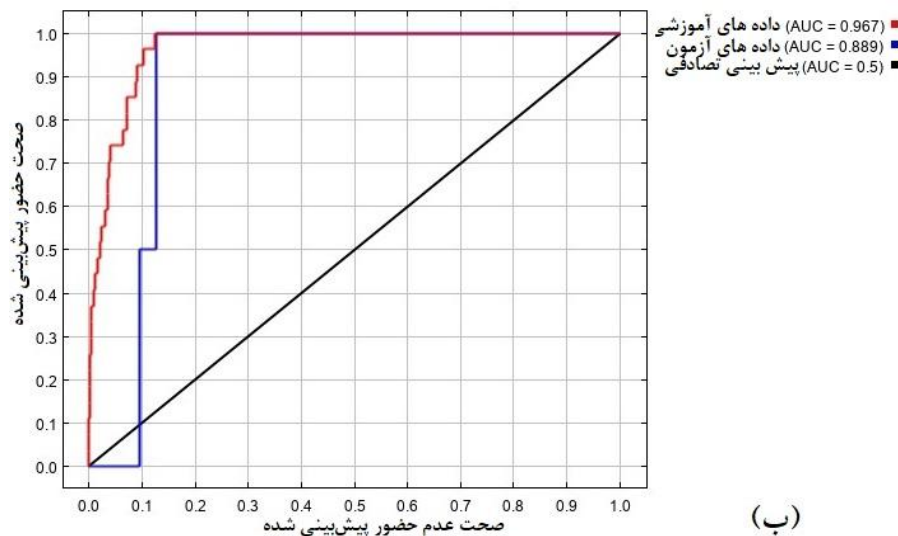
همچنین نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد که پراکنش بالقوه گونه *E. amoenum* در حال حاضر در نوار شمالی کشور و در بخش‌های محدودی از شمال غرب ایران است (شکل ۴-الف). به علاوه خروجی مدل نشان می‌دهد که به‌طور کلی در پاسخ به تغییر اقلیم بیش از ۴۴۲۷۸ کیلومتر مربع (معادل ۷۰/۵۱٪) از کل مساحت زیستگاه‌های مطلوب این گونه در در دهه ۲۰۵۰ و تحت سناریوی RCP2.6 از بین می‌رود (شکل ۴-ب و جدول ۲). همچنین کاهش دامنه پراکنش این گونه به میزان ۴۲۸۰۴ کیلومتر مربع (معادل ۶۸/۱۶٪) در دهه ۲۰۷۰ و تحت سناریوی RCP2.6 پیش‌بینی می‌شود (شکل ۴-ج و جدول ۲). اثر تغییر اقلیم بر کاهش پراکنش این گونه در سناریوی RCP8.5 شدیدتر است، به طوری که پیش‌بینی می‌شود که تحت این سناریو در دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به ترتیب ۵۱۱۵۲ کیلومتر مربع (معادل ۸۱/۴۵٪) و ۵۶۵۲۵ کیلومتر مربع (معادل ۹۰/۰۱٪) از کل زیستگاه‌های مطلوب این گونه از بین بروند (شکل ۴-د و ه) (جدول ۲).



شکل ۲. فرآیند مدلسازی  
پراکنش گونه‌ای  
*Echium amoenum*  
و  
*Echium italicum*  
در ایران

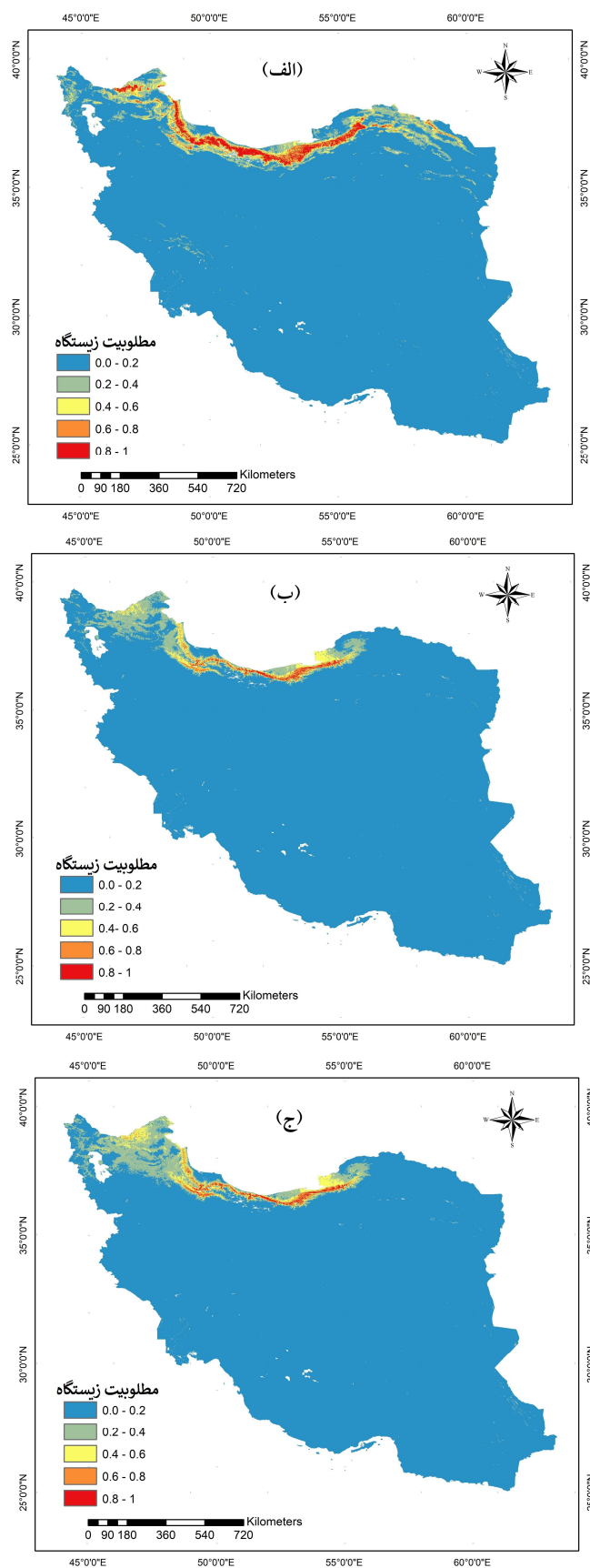


شکل ۳. نمودار سطح زیر  
منحنی ROC برای اعتبارسنجی  
مدل مطلوبیت زیستگاه



گونه *E. amoenum* (الف)  
و گونه *E. italicum* (ب).





شکل ۴. نقشه‌های پیش‌بینی

پراکنش بالقوه گونه

*E. amoenum*

(الف) در زمان حاضر

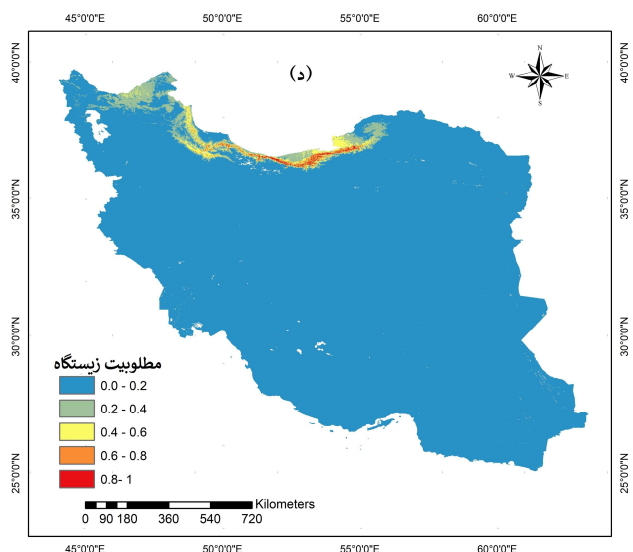
(ب) در زمان آینده تحت

سناریو RCP 2.6 در سال

۲۰۵۰

(ج) تحت سناریوی RCP 2.6

در سال



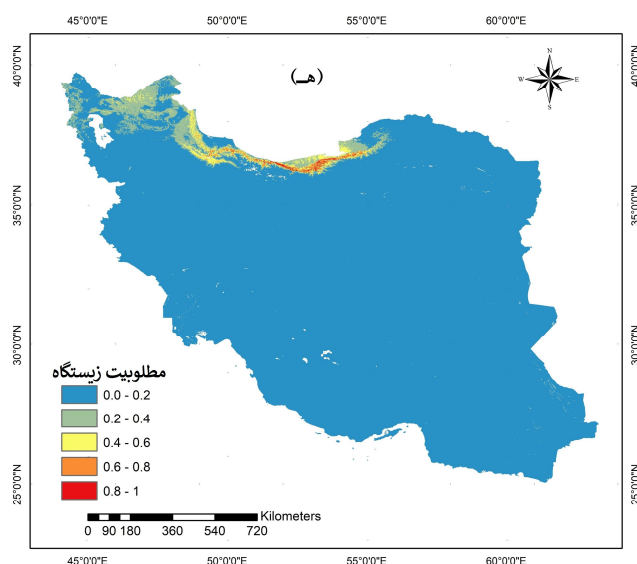
ادامه شکل ۴.

(د) تحت سناریو RCP 8.5 در

سال ۲۰۵۰

(هـ) تحت سناریوی RCP 8.5

در سال ۲۰۷۰



جدول ۲. درصد افزایش، کاهش و تغییر در پراکنش بالقوه گونه‌های *E. italicum* و *E. amoenum* تحت سناریوی خوش‌بینانه

(RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰

سناریوها - زمان												
نام گونه	سناریوی بدبینانه سال ۲۰۷۰			سناریوی بدبینانه سال ۲۰۵۰			سناریوی خوش‌بینانه سال ۲۰۷۰			سناریوی خوش‌بینانه سال ۲۰۵۰		
	تغییر	کاهش	افزایش	تغییر	کاهش	افزایش	تغییر	کاهش	افزایش	تغییر	کاهش	افزایش
<i>E. amoenum</i>	-۹۰/۰۱	۹۰/۳	۰/۲۹	-۸۱/۴۵	۸۲/۸۸	۱/۴۳	-۶۸/۱۶	۷۳/۲۵	۵/۰۹	-۷۰/۵۱	۷۴/۹۵	۴/۴۴
<i>E. italicum</i>	-۵۱/۶۳	۵۸/۶۷	۷/۰۴	-۲۱/۳۲	۲۹/۰۵	۷/۷۳	-۱/۷۶	۱۶/۱۵	۱۴/۴	-۳/۷۷	۱۵/۹۲	۱۲/۱۵

زیستگاه‌هایی با میزان تابش ۸۰۰۰-۷۰۰۰ وات بر مترمربع است (شکل ۸-د). همچنین احتمال حضور این گونه در رویشگاه‌هایی با درصد شیب بین ۲۰-۰ افزایش می‌یابد (شکل ۸-ه). محدوده دمای متوسط سردترین فصل سال برای *E. italicum* بین ۱۰- تا ۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌شود (شکل ۸-و).

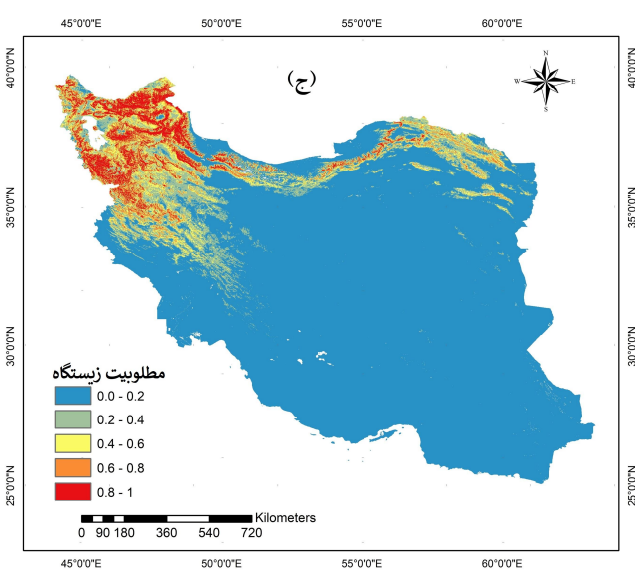
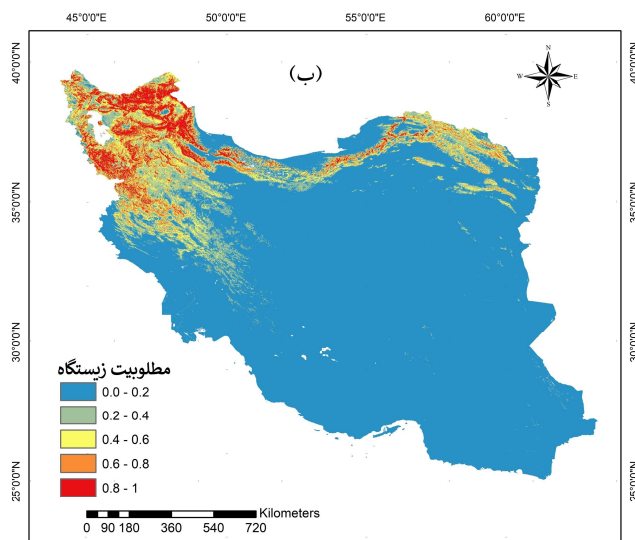
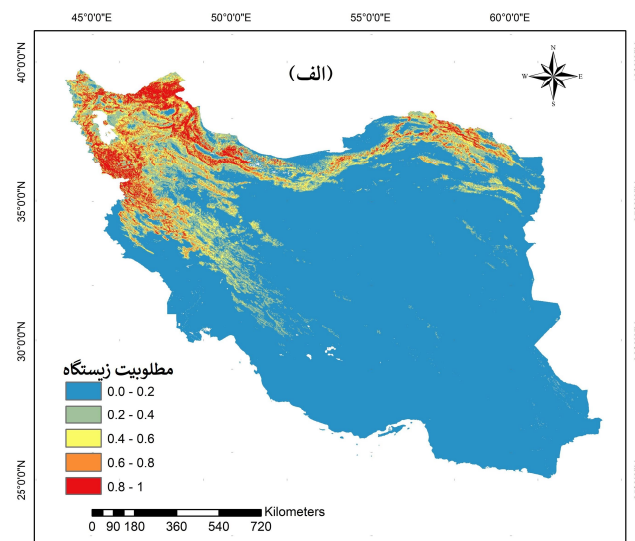
### بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه پراکنش بالقوه دو گونه *E. amoenum* و *E. italicum* با استفاده از مدل آنتروپی بیشینه مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه نقشه‌های بدست آمده با داده‌های مکانی گزارش شده قبلی برای این دو گونه نشان می‌دهد که مدل MaxEnt در پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه‌ها در سطحی عالی عمل کرده است. امروزه MaxEnt یکی از بهترین مدل‌هایی است که با دقت بالا به پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مختلف می‌پردازد و نسبت به سایر الگوریتم‌های شناخته شده حساسیت کمتری نسبت به اندازه نمونه دارد. بنابراین MaxEnt برای بررسی گونه‌های با پراکنش محدود نیز می‌تواند موفق‌تر از سایر مدل‌ها عمل کند (۴۷ و ۵۲). همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مناطق شمالی، غرب و بخش کوچکی از شمال‌غرب و شمال شرق ایران زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های مورد مطالعه به شمار می‌آیند و امکان حضور این گونه‌ها در سایر زیستگاه‌های شرقی، مرکزی و جنوبی ایران امکان‌پذیر نیست. درصد شیب (Slope)، از مهم‌ترین متغیرهای محیطی موثر بر پراکنش *E. italicum* و *E. amoenum* عنوان شده است. توپوگرافی عامل حیاتی فراوانی، تنوع و پراکنش گونه‌های گیاهی به شمار می‌آید (۱۸). فاکتورهای توپوگرافی مانند ارتفاع و جهت و درصد شیب، توزیع مجدد فضایی نور خورشید، گرما، آب و عناصر غذایی خاک را در اکوسیستم‌ها کنترل می‌کنند و منجر به توسعه شرایط اقلیمی خرد (micro-climatic conditions) به همراه بافت خاک متنوع و توزیع مواد مغذی مختلف می‌شوند (۳۶) که این مسأله سبب ایجاد زیستگاه‌های متنوع و به دنبال آن تنوع در پوشش گیاهی

همچنین پراکنش بالقوه گونه *E. italicum* با پراکنش فعلی که از آن در ایران گزارش شده، کاملاً مطابقت دارد و این گونه غالباً در شمال غرب، غرب، شمال و بخش‌های محدودی از شمال شرق یافت می‌شود (شکل ۵-الف). به علاوه پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه *E. italicum* نشان می‌دهد که این گونه تأثیرپذیری کمتری نسبت به گونه *E. amoenum* در پاسخ به تغییر اقلیم در تمامی سناریوها و مقیاس‌های زمانی دارد. گونه *E. italicum* در مجموع تنها ۹۱۴۰ کیلومترمربع (معادل ۳/۷۷٪) از کل زیستگاه‌های مطلوب خود را در پاسخ به تغییر اقلیم در دهه ۲۰۵۰ و تحت سناریو RCP2.6 از دست خواهد داد (جدول ۲ و شکل ۵-ب). همچنین در مجموع این گونه در دهه ۲۰۷۰ و تحت سناریو RCP2.6، ۴۲۵۱ کیلومترمربع (معادل ۱/۷۶٪) کاهش پراکنش خواهد داشت (جدول ۲ و شکل ۵-ج). اثر تغییر اقلیم بر روی این گونه در سناریوی RCP8.5 شدیدتر خواهد بود، به طوری که ۵۱۶۲۹ کیلومترمربع (معادل ۲۱/۳۲٪) از کل زیستگاه‌ها در دهه ۲۰۵۰ و ۱۲۵۰۱۰ کیلومترمربع (معادل ۵۱/۶۳٪) از کل مساحت آنها در دهه ۲۰۷۰ از بین خواهند رفت (جدول ۲ و شکل ۵-د و ه).

مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه *E. amoenum* شیب (Slope)، دامنه تغییرات سالیانه دما (BIO7) و میزان بارش در خشک‌ترین فصل (BIO17) هستند (جدول ۳). همچنین میزان تابش نورخورشید (Solar radiation)، شیب (Slope) و دمای متوسط سردترین فصل (BIO11) از جمله مهم‌ترین فاکتورهای محیطی موثر بر پراکنش گونه *E. italicum* به شمار می‌آیند (جدول ۴).

بر اساس نتایج احتمال حضور گونه *E. amoenum* در زیستگاه‌های با شیب کند (کمتر از ۱۰ درصد) بیشتر است (شکل ۸-الف). محدوده اکولوژیک بارش خشک‌ترین فصل این گونه برابر با ۶۰-۱۰ میلی‌متر است (شکل ۸-ب). همچنین دامنه تغییرات سالیانه دما برای گونه مورد بررسی بین ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۸-ج). همچنین نتایج پیش‌بینی می‌کند که بیشترین احتمال حضور گونه *E. italicum* در



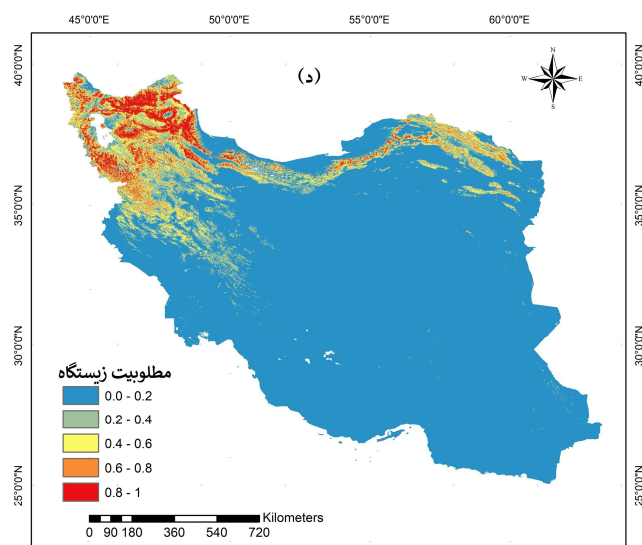
شکل ۵. نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه

*E. italicum*

الف) در زمان حاضر

ب) در زمان آینده تحت سناریو RCP 2.6 در سال ۲۰۵۰

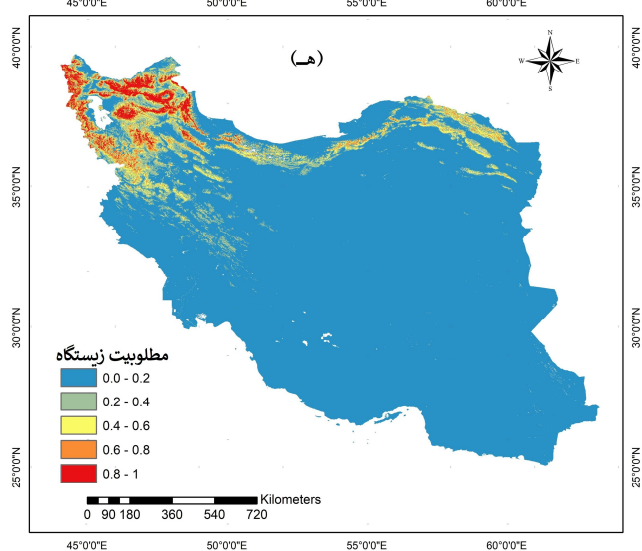
ج) تحت سناریوی RCP 2.6 در سال ۲۰۷۰



ادامه شکل ۵.

(د) تحت سناریو RCP 8.5 در سال ۲۰۵۰

(ه) تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۷۰

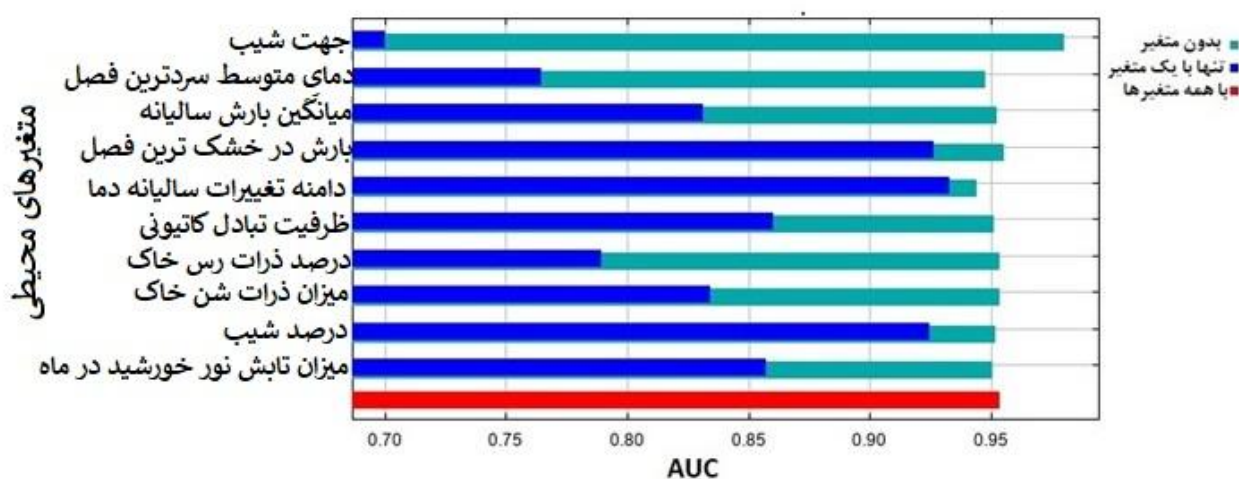
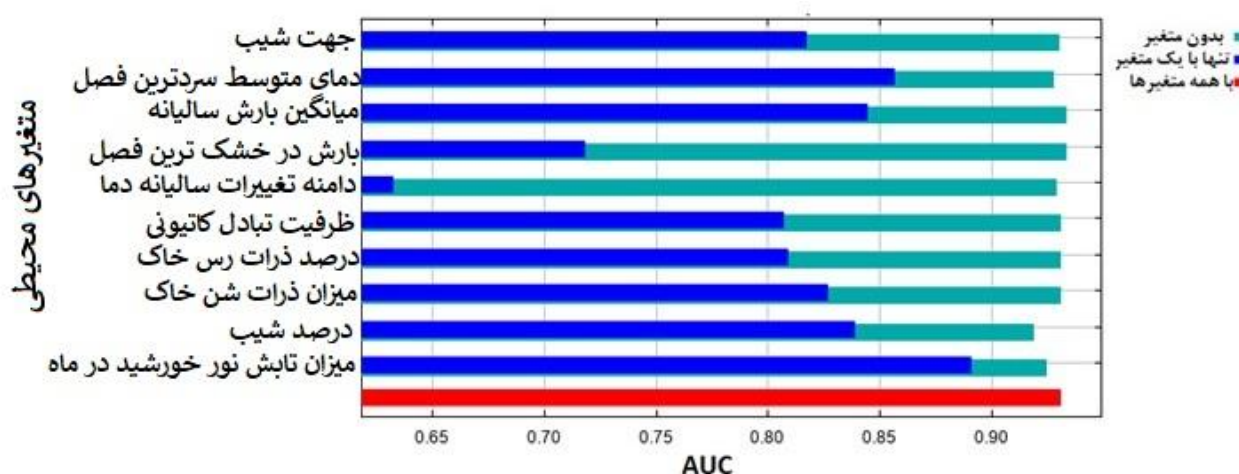


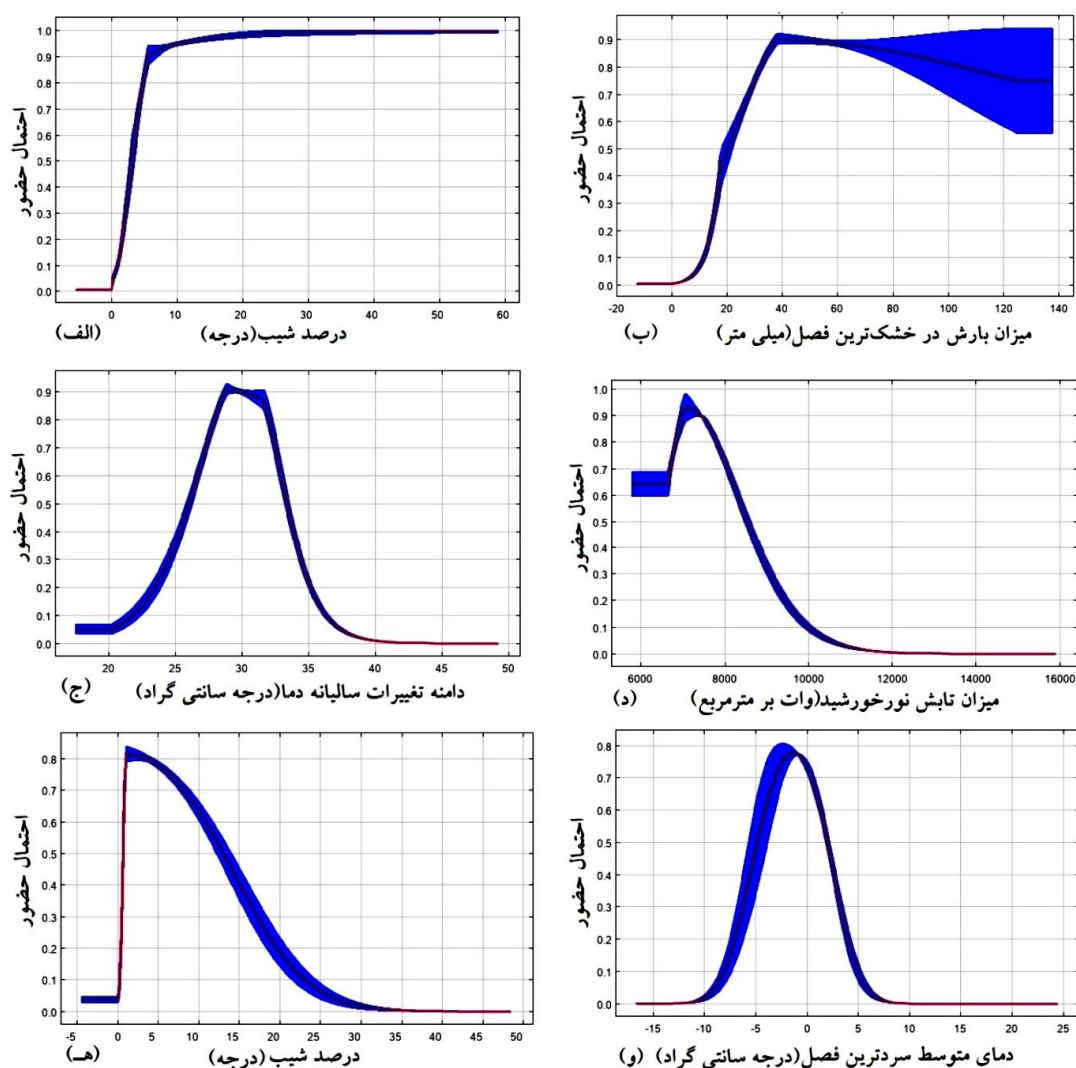
جدول ۳. اهمیت متغیرهای ورودی براساس آنالیز مشارکت متغیرها در مدلسازی گونه *E. amoenum* در منطقه مورد مطالعه

متغیرها	درصد سهم هر متغیر	اهمیت جایگشتی
درصد شیب	۳۸/۸	۳/۵
بارش در خشک‌ترین فصل	۳۱/۹	۰/۸
دامنه تغییرات سالیانه دما	۱۱/۵	۷۲/۸
میزان تابش نور خورشید در ماه	۷/۴	۶/۹
دمای متوسط سردترین فصل	۴/۲	۵/۵
ظرفیت تبادل کاتیونی	۳	۷/۳
جهت شیب	۲/۱	۰/۳
میانگین بارش سالیانه	۰/۷	۰/۸
میزان ذرات شن خاک	۰/۴	۱/۹
درصد ذرات رس خاک	۰/۲	۰/۲

جدول ۴. اهمیت متغیرهای ورودی براساس آنالیز مشارکت متغیرها در مدلسازی گونه *E. italicum* در منطقه مورد مطالعه

متغیرها	درصد سهم هر متغیر	اهمیت جایگشتی
درصد شیب	۳۶/۴	۷/۴
بارش در خشک‌ترین فصل	۰/۶	۰/۲
دامنه تغییرات سالیانه دما	۱/۷	۱/۵
میزان تابش نور خورشید در ماه	۳۷/۶	۲۲/۲
دمای متوسط سردترین فصل	۱۱/۵	۵۶/۷
ظرفیت تبادل کاتیونی	۱/۲	۰/۶
جهت شیب	۶/۸	۲/۶
میانگین بارش سالیانه	۲/۷	۲
میزان ذرات شن خاک	۱/۴	۴/۳
درصد ذرات رس خاک	۰/۱	۲/۵


 شکل ۶. متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش بالقوه گونه *E. italicum* بر اساس آزمون جک نایف

 شکل ۷. متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش بالقوه گونه *E. italicum* بر اساس آزمون جک نایف



شکل ۸. منحنی‌های پاسخ مهم‌ترین متغیرها برای گونه‌های *E. amoenum* (الف، ب و ج) و *E. italicum* (د، ه و و).

فاکتورهای اقلیمی مانند دمای متوسط سردترین فصل و بارش با تأثیر بر حداقل دمای لازم برای جوانه‌زنی و شکستن خواب بذرها بر پراکنش بالقوه گونه‌های مورد مطالعه موثر شناخته شده است. دسکامپس و همکاران (۲۰) اخیراً پژوهشی بر روی اثر تغییر اقلیم بر دو گونه *Echium plantagineum* و *Echium vulgare* انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی سبب تسریع گلدهی، کاهش اندازه گل و کاهش شهد شده و در نتیجه منجر به اختلال در گرده افشانی و عدم تولید مثل موفق این گونه‌ها می‌شود. از سوی دیگر تغییرات اقلیمی سبب تنش آبی و

می‌شود (۱۶ و ۱۷). مطالعات مدل‌سازی بسیاری درصد و جهت شیب را به عنوان یک عامل کلیدی در پراکنش گونه‌های مختلف گیاهی شناسایی کرده‌اند (۴۱، ۴۲ و ۴۴). همچنین متغیرهای اقلیمی مانند دامنه سالیانه دما (BIO7)، دمای متوسط سردترین فصل (BIO11) و میزان بارش در خشک‌ترین فصل (BIO17) نیز از جمله فاکتورهای بوم‌شناختی تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های مورد مطالعه هستند. الگوهای پراکنش گیاهان بشدت وابسته به شرایط اقلیمی محیط است و بارش و دما نقش اساسی در پراکنش و استقرار گونه‌های مختلف ایفا می‌کنند (۱۵ و ۴۸).

افزایش دما خواهند شد که بر فیزیولوژی و صفات مورفولوژیکی گیاه اثر می‌گذارد که این مساله سبب اختلال در رشد گیاه نیز می‌شود (۲۰). مطالعاتی پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر گیاه دارویی *Anchusa italica* Retzius در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که این گونه نیز در پاسخ به تغییر اقلیم تا ۴۰ درصد از زیستگاه‌های مطلوب خود را از دست داد (۲۶). همچنین مطالعه قریشی اردستانی و حیدری (۳۰) پیش‌بینی می‌کند که تغییرات اقلیمی آینده باعث کاهش چشمگیر پراکنش گونه دارویی *Salvia hydrangea* DC. Ex Benth در ناحیه زاگرس مرکزی شود. این در حالی است که پیش‌بینی می‌شود که گونه دارویی *Thymus kotschyanus* غالباً با مهاجرت به ارتفاعات بالاتر از تغییرات اقلیم سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ سود می‌برد و پراکنش خود را گسترده‌تر می‌کند (۵۹). بنابراین به‌نظر می‌رسد که گیاهان دارویی به تغییرات اقلیمی آینده پاسخ‌های متفاوتی خواهند داد. همچنین بارش و دما از فاکتورهای اکولوژیکی محدودکننده سایر گروه‌های گیاهی نیز هستند. به عنوان مثال نتایج حاصل از یک بررسی نشان می‌دهد که بارش یک عامل محیطی اساسی در مدل‌های پراکنش بالقوه گونه *Astragalus caragana* Fischer & C. A. Meyer است (۷). مطالعات مختلفی نیز بارش را به عنوان یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی ذکر نموده‌اند (۲ و ۵۷) به علاوه بارش و دما از جمله فاکتورهای تأثیرگذار بر پراکنش بالقوه گونه‌های *Ferula xylorrhachis* Rech.f و *Juniperus* spp. ذکر شده‌اند (۵۰ و ۶۱). همچنین از دما به‌عنوان فاکتور محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های اندمیک جنس *Astragalus* spp. توسط اردستانی و همکاران یاد شده است (۷). میزان تابش نور خورشید یکی دیگر از عوامل مهم مؤثر در الگوهای پراکنش جغرافیایی گونه *E. italicum* است. تابش خورشید با تأثیر بر دمای هوا و همچنین میزان رطوبت و دمای خاک نقش مهمی در پراکنش، فنولوژی و رشد گونه‌های گیاهی ایفا می‌کند (۱۲ و ۱۸). همچنین نقش اساسی تابش خورشید در مدلسازی پراکنش برخی از گونه‌های گیاهی مانند

*Rubus fruticosus* L. و *Asparagus acutifolius* L. گزارش شده است (۶۵). همچنین مدل‌ها پیش‌بینی می‌کنند که بیش از ۹۰ درصد از زیستگاه‌های مطلوب گونه *E. amoenum* و بیش از ۵۰ درصد از زیستگاه‌های مطلوب گونه *E. italicum* تا دهه ۲۰۷۰ در پاسخ به تغییر اقلیم از بین خواهند رفت. به‌علاوه کاهش پراکنش گونه‌های *Amygdalus scoparia* Spach. (۳۴)، *Phlomis odoratissima* Mozaff. (۲)، *Artemisia aucheri* Salmaki & Joharchi *binaludensis* (۲۵)، *Pistacia atlantica* Desf. (۵۶) در پاسخ به تغییر اقلیم در ایران گزارش شده است. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که گونه *E. amoenum* در برابر تغییرات اقلیمی حساسیت بیشتری نسبت به گونه *E. italicum* نشان می‌دهد. به‌طور کلی این گونه پراکنش محدودتری نسبت به *E. italicum* دارد و نوار باریکی از شمال ایران را به خود اختصاص داده است. به علاوه زیستگاه‌های این گونه در شمالی‌ترین نقاط ایران واقع شده‌اند، بنابراین امکان مهاجرت به عرض‌های شمالی بالاتر برای آن وجود ندارد و به نظر منطقی می‌رسد که در آینده نزدیک بسیاری از زیستگاه‌های مطلوب خود را از دست بدهد. یک مطالعه مشابه در شمال غرب هیمالیا نشان داد که گونه *Myrica esculenta* Buch. Ham. ex D. Don که گونه دارویی مهمی است و در عرض‌های شمالی‌تر پراکنش دارد نیز در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر بوده و زیستگاه‌های مطلوبش را در آینده از دست خواهد داد (۱۳). نهایتاً اینکه امروزه تغییرات اقلیمی نه تنها با تأثیر بر پراکنش گیاهان دارویی باعث در معرض خطر انقراض قرار گرفتن این گونه‌ها می‌شوند بلکه با تأثیر بر فنولوژی، تولیدمثل و زادآوری و همچنین تأثیر بر متابولیت‌های ثانویه سبب ایجاد تغییر در همه ابعاد زندگی آن‌ها شده و حیاتشان را به خطر می‌اندازند. از سوی دیگر برداشت‌های بی‌رویه، تغییر کاربری اراضی و خشکسالی‌های اخیر سبب در معرض خطر انقراض قرار گرفتن این گونه‌های با ارزش شده است. بنابراین نتایج حاصل از مدل‌های پراکنش گونه‌ای می‌توانند توسط



می‌شوند، ممکن است حاوی خزانه‌های ژنتیکی جالب برای اهلی شدن این گیاهان در آینده باشند. اهلی‌سازی این گونه‌ها با استفاده از نزدیکترین خویشاوندان وحشی آنها نیز می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش برداشت‌های بی‌رویه آنها باشد. بدیهی است داده‌های مدل‌سازی اکولوژیک به عنوان یک هشدار علمی محسوب می‌گردد و به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی در کنار سایر راهکارها در مدیریت حفاظتی گونه‌های با الویت کشور موثر خواهد بود.

### سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند که از همکاری صمیمانه خانم منیر قاسمی در انجام مطالعات میدانی پژوهش حاضر تشکر و قدردانی نمایند.

زیست‌شناسان حفاظتی برای مقابله با تغییرات اقلیمی بالقوه استفاده شوند.

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بسیاری از زیستگاه‌های مطلوب دو گونه گیاهی *E. italicum* و *E. amoenum* در پاسخ به تغییر اقلیم از بین خواهند رفت. پیش‌بینی می‌شود که تنش آبی و افزایش دما سبب ایجاد اثرات مخرب جبران‌ناپذیری بر پراکنش این گونه‌ها خواهد شد بنابراین اقدامات حفاظتی برای جلوگیری از انقراض آنها امری ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت چندین استراتژی مانند حفاظت در محل (In-situ) و حفاظت خارج از محل (Ex-situ) به شکل بانک بذر (Seed banking)، حفاظت انجمادی ژرم پلاسما جمعیت‌های این گونه‌ها (Cryopreservation) و ایجاد بانک‌های ژنی در فضاها (Field gene banking) برای جلوگیری از انقراض این گونه‌ها پیشنهاد می‌شود. همچنین مناطقی که توسط این مدل‌ها به عنوان مکان‌های با تراکم جمعیتی بالا شناسایی

### منابع مورد استفاده

1. Abdelaal, M., M. Fois, G. Fenu and G. Bacchetta. 2019. Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crép. in Egypt. *Ecological Informatics* 50: 68–75.
2. Abolmaali, S., M. Torkesh Esfahani and H. Boshri. 2017. Assessing impacts of climate change on endangered *Kelossia odoratissima* Mozaft species distribution using Generalized Additive Model. *Journal of Natural Environment* 70(2): 243-254. (In Persian)
3. Ahvazi, M., F. Khalighi-Sigaroodi, M. Charkhchiyan, F. Mojab, V. Mozaffarian and H. Zakeri. 2011. Introduction of Medicinal Plants Species with the Most Traditional Usage in Alamut Region. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research* 11(1):185-194. (In Persian)
4. Akhiani, H. 2007. Diversity, biogeography and photosynthetic pathways of *Argusia* and *Heliotropium* (Boraginaceae) in South-West Asia with analysis of phytogeographical units. *Botanical Journal of the Linnean Society* 155:401–425.
5. Alaei Taleghani, M. 2001. Geomorphology of Iran. Ghoms Publishing. Tehran, Iran.
6. Amiri, M., M. Tarkesh and R. Jafari. 2019. Predicting the climatic ecological niche of *Artemisia aucheri* Boiss in Central Iran using species distribution modeling. *Iranian Journal of Applied Ecology* 8 (2) :61-79. (In Persian)
7. Ardestani, G. E., M. Tarkesh, M. Bassiri et al. 2015. Potential habitat modeling for reintroduction of three native plant species in central Iran. *Journal of Arid Land* 7: 381–390.
8. Asghari, G., M.S.D. Sadeghi Dinani, F. Houshidari and B. Ravanbakhsh. 2018. Identification, preliminary phytochemical evaluation and ethnobotanical uses of selected plant flora of Mariwan. *Journal of Islamic and Iranian Traditional Medicine*. 8 (4) :489-500.
9. Asuero, A., A. Sayago and A. Gonzalez. 2006. The correlation coefficient: An overview. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 36: 41–59.
10. Azizi, H., S. Ghafari, R. Ghods, A. Shojaii, M. Salmanian et al. 2018. A review study on pharmacological activities, chemical constituents, and traditional uses of *Echium amoenum*. *Pharmacognosy Reviews* 12(24): 208-213.
11. Behmanesh, B., E. Tabasi, A. Fakhireh and L. Khalasi Ahvazi. 2019. Modeling the distribution of medicinal plant species of *Thymus kotschyianus* and *Achillea millefolium* using ENFA and Logistic Regression. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 6 (13):91-120.

12. Bennie, J., B. Huntleya, A. Wiltshirea, M.O. Hill and R. Baxtera. 2008. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling* 216: 47–59.
13. Bhandari, M.S., R. Shankwar, R.K. Meena et al. 2021. Past and future distribution pattern of *Myrica esculenta* in response to climate change scenario. *Modeling Earth Systems and Environment* 7: 1831–1846.
14. Bodeker, C., G. Bodeker, C.K. Ong, C.K. Grundy, G. Burford and K. Shein. 2005. *WHO Global Atlas of Traditional, Complementary and Alternative Medicine*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
15. Breshears, D.D., N. S. Cobb, P. M. Rich, K. P. Price, C. D. Allen, R. G. Balice, W. H. Romme, J. H. Kastens, M. L. Floyd, J. Belnap, J. J. Anderson, O. B. Myers, and C. W Meyer. 2005. Regional vegetation die-off in response to a global Chan type drought. *Proceedings of the National Academy of Science* 102:15144-15148.
16. Chang, X.L., S.H. Lü, Z.Y. Feng, and S.X. Ye. 2015. Impact of topography on the spatial distribution pattern of net primary productivity in a meadow. *Acta Ecologica Sinica* 2015, 35, 3339–3348.
17. Chen, L., S. Zhang, B. Fu and H. Peng. 2003. Correlation analysis on spatial pattern of land use and soil at catchment scale. *Acta Ecologica Sinica* 23: 2497–2505.
18. Coblenz, D. and K.H. Riitters. 2004. Topographic controls on the regionalscale biodiversity of the south-western USA. *Journal of Biogeography* 31: 1125–1138.
19. Delfan, E., H. Khodayari and K. Azizi. 2020. Ethnobotany of Native Medicinal Plants in Zagheh and Biranshahr districts, Lorestan Province, Iran. *Eco-Phytochemical Journal of Medical Plants* 7: 64-83.
20. Descamps, C., S. Marée, S. Hugon, M. Quinet and A.L. Jacquemart. 2020 Species-specific responses to combined water stress and increasing temperatures in two bee-pollinated congeners (*Echium*, Boraginaceae). *Ecology and Evolution* 10: 6549-6561.
21. Djamali, M., H. Akhani, R. Khoshraves, V. Andrieu-Ponel, P. Ponel and S. 2011. Application of the Global Bioclimatic Classification to Iran: implications for understanding the modern vegetation and biogeography. *Journal of Mediterranean Ecology* 37(1): 91–114.
22. Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J., Li, L. G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. M. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti- Pereira, R. E. Schapire, J. Soberon, S. Williams, M.S. Wisz and N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129 – 151
23. Elith, J., M. Kearney and S. Phillips. 2010. The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1(4): 330–342.
24. Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee and C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions* 17(1): 43-57 24.
25. Erfanian, M. B., M. Sagharyan, F. Memariani and H. Ejtehadi. 2021. Predicting range shifts of three endangered endemic plants of the Khorassan-Kopet Dagh floristic province under global change. *Scientific Reports* 11(1).
26. Farzadmehr, J. and H. Sangoony. 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 Persian )
27. Fourcade, Y., J.O. Engler, D. Rodder and J. Secondi. 2014. Mapping Species Distributions with Maxent Using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PLoS One* 9: e97122.
28. Gent, P. R., G. Danabasoglu, L. J. Donner, M. M. Holland, E. C. Hunke et al. 2011. The community climate system model version 4. *Climate* 24(19): 4973-4991.
29. Ghasemzadeh, A., H.Z. Jaafar and A. Rahmat. 2010. Elevated carbon dioxide increases contents of flavonoids and phenolic compounds, and antioxidant activities in Malaysian young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe.) varieties. *Molecules* 15 (11): 7907-7922.
30. Ghehsareh Ardestani, E., and Z. Heidari Ghahfarrokhi. 2021. Ensembpecies distribution modeling of *Salvia hydrangea* under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains, Iran. *Global Ecology and Conservation* 26: e01488.
31. Gilani, H., M. Arif Goheer, H. Ahmad and K. Hussain. 2020. Under predicted climate change: Distribution and ecological niche modelling of six native tree species in Gilgit-Baltistan, Pakistan. *Ecological Indicators* 111: 106049.
32. Gray, A. 2018. The ecology of plant extinction: rates, traits and island comparisons. *Oryx* 53: 424-428
33. Guisan, A. and N.E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135:147-186.
34. Haidarian Aghakhani, M., R. Tamartash, Z. Jafarian, M. Tarkesh Esfahani and M.R. Tatian. 2017. Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* 8(3):1–14.

35. Hamidi, E.M., M. Khaksari and K. Hojabri. 2014. The effects of aqueous extracts of *Echium amoenum* and citrus aurantifolia on blood pressure and heart rate before and after phynelephrine injection in rat. *Journal of Kerman University of Medical Sciences* 18:349–357 In Persian
36. Hansen, A. J., and J. R. Rotella. 1999. Abiotic factors and biodi-versity. In: Hunter, H. (ed.). 1999. Maintaining biodiversity in forest ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, 714 p.
37. Hedge, I.C. and P. Wendelbo. 1978. *Patterns of distribution and endemism in Iran. Notes from the Royal Botanic Garden, Edinburgh* 36:441–464.
38. Hosseinzadeh, H., S. Shahandeh, and S. Shahsavand. 2012. Anxiolytic and hypnotic effects of aqueous and ethanolic extracts of aerial parts of *Echium italicum* L. in Mice. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products* 7(2):71-9.
39. Humphreys, A.M., R. Govaerts, S.Z. Ficinski, E.N. Lughadha and M.S. Vorontsova. 2019. Global dataset shows geography and life form predict modern plant extinction and rediscovery. *Nature Ecology & Evolution* 7: 1043 – 1047.
40. IPCC. 2013. Climate change. p. 1535. In: Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (Eds.), The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. 40p.
41. Jalali, A., A. Raesi Vanani and M. Shirani. 2020. Ethnobotanical Approaches of Traditional Medicinal Plants Used in the Management of Asthma in Iran. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products* 15(1): e62269.
42. Kargar, M., D. Akhzari and A. Saadatfar. 2019. Comparing Different Modeling Techniques for Predicting Presence-absence of Some Dominant Plant Species in Mountain Rangelands, Mazandaran Province. *Journal of Rangeland Science* 9(3): 219-233.
43. Karger, D.N., O. Conrad, J. Böhner, T. Kawohl, H. Kreft, R.W. Soria-Auza, N.E. Zimmermann, H.P. Linder and M. Kessler. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4: 170122.
44. Khajoei Nasab, F., A.R. Mehrabian and H. Mostafavi. 2020b. Mapping the current and future distributions of *Onosma* species endemic to Iran. *Journal of Arid Land* 12: 1031-1045.
45. Khanum, R., A.S. Mumtaz and S. Kumar. 2013. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. *Acta Oecologica* 49: 23–31.
46. Khatamsaz, M. 2002. Boraginaceae. pp. 114-167, In: M. Assadi, A. A. Maassoumi and M. Khatamsaz (eds.), Flora of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran. (In Persian).
47. Kumar, P. 2012. Assessment of impact of climate change on Rhododendrons in Sikkim Himalayas using Maxent modelling: limitations and challenges. *Biodiversity and Conservation* 21: 1251–1266.
48. Lloyd, A.H., and L.J. Graumlich. 1997. Holocene dynamics of treeline forests in the Sierra Nevada. *Ecology* 78:1199–1210.
49. Loarie, S.R., B.E. Carter, K. Hayhoe, S. McMahon, R. Moe, C.A. Knight et al., 2008. Climate Change and the Future of California's Endemic Flora. *PLoS ONE* 3(6).
50. Mazangi, A., H. Ejtehad, O. Mirshamsi et al. 2016. Effects of climate change on the distribution of endemic *Ferula xylorhachis* Rech.f. (Apiaceae: Scandiceae) in Iran: predictions from ecological niche models. *Russian Journal of Ecology* 47(4): 349– 354.
51. Mehrabian, A.R., F. Khajoei Nasab and M. Amini Rad. 2021. Distribution patterns and priorities for conservation of Iranian Endemic Monocots: determining the Areas of Endemism(AOEs). *Journal of Wildlife and Biodiversity* 5(2): 69-87.
52. Merow, C., M.J. Smith and J.A. Silander. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36: 1058–1069.
53. Mozaffarian, V. 2012. Identification of medicinal and aromatic plants of Iran. Farhang Moaser Publishers, Tehran, 1444 pp. (In Persian)
54. Mukherjee, P.W. 2002. *Quality Control of Herbal Drugs: An Approach to Evaluation of Botanicals*. New Delhi, India: Business Horizons Publishers.
55. Mueller-Dumbois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, New York.
56. Naghipour borj, A.A., M. Haidarian-Aghakhani and H. Sangoony. 2019. Predicting the impact of climate change on the distribution of *Pistacia atlantica* in the Central Zagros. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 6 (13) :197-214. (In Persian)
57. Najafi, M., M. Vahabi and M. Tarkesh Esfahani. 2016. The application modeling potential habitat in habitat protection *Fritillaria* (*Fritillaria imperialis*). *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 3 (7) :113-128. (In Persian)
58. NCCOI, 2014. Third national communication to UNFCCC. National Climate Change Office of Iran. Accessed on

- 2020-07-26, <http://climate change.ir>.
59. Nazari, S., Z. Jafarian, J. Alavi and A. Naghi poor. 2021. The Impact of Climate Change on The Geographic Distribution of *Thymus Kotschyanus* (Boiss and Hohen) Using Ensemble Modelling. *Desert Management* 9(3): 1-16. (In Persian)
60. Phillips, S.J., M. Dudík and R.E. Schapire. 2017. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: [http:// bio diversity informatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://bio diversity informatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 2020-8-18.
61. Rahimian Boogar, A., H. Salehi, H.R. Pourghasemi and T. Blaschke. 2019. predicting habitat suitability and conserving *Juniperus* spp. Habitat using SVM and maximum entropy machine learning Techniques. *Water* 11: 2049.
62. R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [2019-05-21]. <http://www.R-project.org/>. 62.
63. Riedl, H. 1967. Boraginaceae. pp. 1-281. In: K. H. Rechinger (ed.), Flora Iranica, Flora des iranischen Hochlandes und der umrahmenden Gebirge, vol. 48. University Press, Edinburgh. Robiansyah, I. 2018. Assessing the impact of climate change on the distribution of endemic subalpine and alpine plants of New Guinea. *Warasan Songkhla Nakharin* 40:701-709.
64. Rudi, G., J.S. Bailly and F. Vinatier. 2018. Using geomorphological variables to predict the spatial distribution of plant species in agricultural drainage networks. *PLoS ONE* 13(1): e0191397.
65. Saadatpour, M., H. Barani, A. Abedi Sarvestani and M. Forouzeh. 2017. Ethnobotanical study of Sojasrood medicinal plants (Zanjan Province). *Journal of Medicinal Herbs* 8(3):185-193. (In Persian)
66. Safaei, M. and M. Tarkesh Esfahani. H 2013. Habitat protection of *Ferula Ovina Boiss.* as a medicine plant using habitat potential modeling (suggested model: ecological niche factor analysis). *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 1 (1) :105-122. (In Persian)
67. Safaeian, L., S.H. Haghjoo Javanmard, M. Ghanadian and S. Seifabadi. 2015. Cytoprotective and antioxidant effects of *Echium amoenum* anthocyanin-rich extract in human endothelial cells (HUVECs). *Avicenna Journal of Phytomedicine* 5 (2): 157-166.
68. Shakoor, A., G. Roshan and A.A. Najafi Kani. 2010. Evaluating climatic potential for palm cultivation in Iran with emphasis on degree-day index. *African Journal of Agricultural Research* 5(13):1616-1626.
69. Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240(4857): 1285-1293.
70. Tsoar, A., O. Ahhouche, O. Steinitz, D. Rotem and R. Kadmon. 2007. A comparative evaluation of presence-only methods for modeling species distribution. *Diversity and Distributions* 13(4): 397-405.
71. West, A.M., S. Kumar, C.S. Brown, T.J. Stohlgren and J. Bromberg. 2016. Field validation of an invasive species Maxent model. *Ecological Informatics* 36: 126-134.

## Predicting the Effect of Climate Change on the Distribution of *Echium Amoenum* and *Echium Italicum* in Iran

F. Khajoei Nasab<sup>1</sup>, A. Nemati parshkouh<sup>2</sup> and A. R. Mehrabian<sup>3\*</sup>

(Received: November 21-2021; Accepted: February 21-2022)

### Abstract

Predicting the effect of climate change on the distribution of valuable and endangered plant species is essential for their conservation and management. In this study, the MaxEnt model and 10 environmental variables were used to predict the current and future distribution of *E. amoenum* and *E. italicum* in response to climate change. Also, to predict the effect of climate change in the future (the 2050s and 2070s), two climate scenarios of RCP 2.6 and RCP8.5 were used under the CCSM4 general circulation model. Evaluating the accuracy of the models based on the AUC index indicates their excellent performance ( $>0.9$ ). Results of this study reveal that the most important variables affecting the distribution of *E. amoenum* species are slope (38.8%), annual temperature range (11.5%), and precipitation in the driest season (31.9%) are. Also, the solar radiation (37.6%), slope (36.4%), and the average temperature of the coldest season (11.5%) are the most important environmental factors affecting the distribution of *E. italicum*. In addition, the results show that the distribution of the studied species will decrease in response to climate change and under RCP2.6 and RCP8.5 in the 2050s and 2070s. Therefore, the results of this study emphasize the need to develop conservation strategies to prevent the extinction of these species.

**Keywords:** Climate change, Maximum entropy model, Boraginaceae, Conservation, Species distribution modeling

1. PhD, Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. PhD student, Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: A\_mehrabian@sbu.ac.ir