پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های خویشاوندان وحشی خانواده سیب‌زمینی (Solanaceae) در ایران با تأکید بر امنیت غذایی

صدف صیادی[۱]، احمدرضا محرابیان[۱*] و حسین مصطفوی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹)

چکیده

خانواده سیب‌زمینی با ۴۹ گونه از ۱۰ جنس یکی از خانواده‌های مهم غذایی، اقتصادی، دارویی و زینتی به حساب می‌آید که شش جنس آن در گروه خویشاوندان وحشی طبقه‌بندی شده‌اند. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی، امری مهم در راستای مدیریت و حفاظت آن‌ها محسوب می‌شود. در این مطالعه، بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر خانواده سیب‌زمینی با رویکرد حفاظتی مورد ارزیابی قرارگرفته و با استفاده از ابزار مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها، پراکنش مکانی آینده آن‌ها توسط مدل بیشینه آنتروپی (MaxEnt) در سناریوهای مختلف خوش‌بینانه (RCP۲,۶) و بدبینانه (RCP۸,۵) برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در محیط نرم‌افزاری R پیش‌بینی شد. بر اساس نتایج، عملکرد مدل بر اساس شاخص AUC در گونه‌های مختلف، خوب یا عالی (≥۰/۸) بوده و این نشان می‌دهد مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها با اطمینان آماری بالایی انجام شد. به‌علاوه، پراکنش همه گونه‌ها در برابر تغییر اقلیم در سناریوهای مختلف آینده هم به‌صورت کاهش در زیستگاه‌های اصلی فعلی و هم افزایش در زیستگاه‌های جدید پیش‌بینی شده است، اما نسبت این افزایش و کاهش در گونه‌های مختلف متفاوت است، به‌طوری‌که در گونه‌های *Atropa acuminate*، *Solanum surratense*، *Datura stramonium*، *Hyoscyamus niger*، *Hyoscyamus reticulatus*، *Physalis alkekengi* و *Solanum dulcamara* نسبت کاهش بیشتر از افزایش است یعنی دامنه تغییرات آنها منفی بوده و تغییر اقلیم، بیشتر سبب حذف آنها خواهد شد. در مقابل، در گونه‌های *Datura innoxia*، *Physalis divaricate*، *Solanum alatum* و *Withania somnifera* نسبت افزایش بیشتر از کاهش است، یعنی دامنه تغییرات آنها مثبت بوده و تغییر اقلیم، بیشتر سبب گسترش آنها خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، خویشاوند وحشی، مدل‌سازی پراکنش گونه، حفاظت

۱. گروه علوم و زیست‌فناوری گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۲. گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a_mehrabian@sbu.ac.ir

مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تهدیدهای تنوع زیستی شناخته شده که سبب تغییر الگوی انتشار گونه‌ها گردیده و خطر انقراض جمعیت‌های با سازگاری پایین را افزایش می‌دهد (۹، ۱۳، ۲۲، ۸۳ و ۱۱۲). این درحالی است که اگر عوامل آب‌وهوایی مهم مانند دما و بارش فراتر از دامنه سازشی یک گونه تغییر کند، تغییر الگوی انتشار گونه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (۵۸). مطالعات متعدد نشان می‌دهد که گونه‌های گیاهی در پاسخ به تغییر اقلیم منطقه‌ای، در امتداد ارتفاع و عرض جغرافیایی تغییر مکان می‌دهند (۵۸، ۸۱ و ۱۲۵). تغییر اقلیم و گرم‌شدن کره زمین، سبب تأثیرات منفی محسوسی در عملکرد بخش کشاورزی شده و تخمین زده می‌شود که درصورت عدم مدیریت بوم‌شناختی تغییرات اقلیمی، در آینده نزدیک عملکرد بخش کشاورزی تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد (۱۰). بنابراین با وقوع این شرایط، امنیت غذایی جمعیت در حال رشد جهان به‌شدت در معرض خطر قرار خواهد گرفت (۱۲۴). از این‌رو یکی از راهکارهای مهم برای مدیریت خطرات ایجادشده از تغییرات آب‌وهوایی، یافتن گزینه‌های مناسب برای حمایت از بوم‌سازگان‌های کشاورزی است. به‌عبارت‌دیگر، استفاده از خویشاوندان وحشی گونه‌های کشاورزی به‌دلیل توانایی بالای اهلی سازی و همچنین وجود ژنوم‌های سازگار در برنامه‌های اصلاحی (۴۰) یکی از مهم‌ترین اقدامات مدیریتی در برابر اثرات منفی تغییر اقلیم محسوب می‌شود.

مدل‌سازی اکولوژیک گونه‌ها یکی از شیوه‌های نوین در راستای مدیریت حفاظتی آن‌ها است. در میان مدل‌های مختلف، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها (Species Distribution Models= SDM) به‌طور گسترده‌ای در اکولوژی و حفاظت به‌کار گرفته شده است (۶۳ و ۸۴). این روش تأثیرات احتمالی تغییرات آب‌وهوایی بر روی توزیع گونه‌ها را ارزیابی می‌کند (۸۵ و ۱۱۶). بر این اساس می‌توان الزامات مدل اکولوژیک گونه‌ها را به سناریوهای اقلیمی آینده منتقل کرد و توزیع بالقوه آن‌ها را تحت شرایط متغیرهای آینده پیش‌بینی کرد (۲۶ و ۸۵). این سناریوها شامل ۴ حالت مختلف ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ است که بر اساس نتایج حاصل از برخی فراسنج‌های اجتماعی-اقتصادی، تکنولوژیک و همچنین میزان غلظت برخی گازها برای دهه‌های آینده طراحی شده‌اند. در سناریوی ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ میزان غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰ به‌ترتیب ۱۳۷۰، ۸۵۰، ۶۵۰ و ۴۹۰ ppm تخمین زده شده است (۴۴). از طرفی، در میان مدل‌های مختلف مورد استفاده در SDM، MaxEnt در شرایطی که فقط داده‌های حضور در دسترس باشد، مناسب است و پیش‌بینی را با عملکرد بسیار قدرتمندی انجام می‌دهد (۶۹ و ۸۶). بنابراین استفاده از مدل در مدیریت ذخایر ژنتیکی بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد. سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت، بیشترین سهم را در تولید محصولات غذایی داشته و نیز نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی جمعیت جهان دارد (۲۵) و همچنین در ایران بعد از گندم رتبه دوم را به خود اختصاص داده است (۴۴). خانواده سیب‌زمینی با حدود ۹۰ جنس و ۳۰۰۰ گونه به‌جز در نواحی قطبی در مناطق وسیعی از جهان انتشار دارد (۱۷ و ۸۰). بخش جنوبی قاره آمریکا با حدود ۴۰ جنس خاستگاه و عرصه اصلی انتشار این تیره محسوب می‌شود. به‌علاوه ۱۰ جنس در اروپا، ۱۵ جنس در آسیا و ۱۰ جنس از این تیره فقط در آفریقا انتشار یافته‌اند (۵۴). این خانواده دارای ۱۰ جنس و ۴۹ گونه (معادل ۰/۶۷ درصد) از ۷۳۰۰ گونه گیاهی ایران (۴) و ۸ گونه اندمیک (معادل ۰/۴۶ درصد) از ۱۷۲۷ گونه اندمیک ایران (۴۸) است. به‌علاوه این خانواده در ایران از درصد اندمیسم بالاتری نسبت به کشورهای ترکیه، روسیه، عراق، عربستان، سوریه و فلسطین برخوردار است (۹۸). بیشتر گونه‌های اندمیک این خانواده در ایران در دامنه‌های غربی و جنوبی رشته‌کوه زاگرس قرار دارد. به‌دلیل وجود تنوع اکولوژیک حاصل از گوناگونی زمین‌شناسی، خاک‌شناسی (۱۹) و اقلیم‌شناسی (۱۰۰)، جمعیت‌های اکولوژیک متنوعی از این گونه‌ها در کشور وجود دارد که هریک به‌عنوان یک خزانه ژنتیکی منحصربه‌فرد از توانمندی‌های

بالایی در ارتقاء و بهبود ژنوم محصولات زراعی خانواده سیب‌زمینی برخوردارند (۹۷). بنابراین ارزیابی اکولوژیک خطرات تهدیدکننده این گونه مانند تغییر اقلیم ضمن اهمیت بسیار کلیدی در حفاظت و مدیریت این ذخایر ژنتیکی، می‌تواند در یافتن گونه یا گونه‌هایی به‌عنوان جایگزین گونه‌های اهلی از اهمیت بسیاری برخوردار باشد. شاخص‌ترین مطالعات انجام-شده برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی گونه‌های مختلف این خانواده عبارتند از مدل‌سازی زیستگاه اکولوژیک *Solanum mauritianum* (۷۰)، الگوهای انتشار گونه‌های خانواده سیب‌زمینی (۹۷)، ارزیابی ژنوتیپ‌های خویشاوندان وحشی سیب‌زمینی (۱۰۴)، پیش‌بینی عملکرد غده سیب‌زمینی در سال ۲۰۵۵ و ۲۰۷۵ (۴۶)، مطالعه خویشاوند وحشی *Allium*، *Solanum* و *Vitis* (۸۲ و ۱۱۵) در مناطق حفاظت‌شده ایالات متحده آمریکا، و بررسی ژنتیکی و مدل‌سازی پراکنش گونه *Solanum johnsonianum* (۱۰۲).

با توجه به همه موارد ذکرشده و اهمیت استفاده از توانمندی‌های زیستی و اکولوژیک خویشاوندان وحشی محصولات کشاورزی جهت ارتقاء سازگاری این محصولات و همچنین فقدان منبع مدون پیرامون ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش مکانی گونه‌های خویشاوند وحشی خانواده سیب‌زمینی در ایران و نقش مهم این خانواده در امنیت غذایی جهان، این تحقیق به دنبال پاسخگویی به سؤالات زیر است: (۱) تأثیر تغییرات اقلیمی بر توزیع گونه‌های خویشاوند وحشی این خانواده (شامل ۱۴ گونه) چگونه است؟ (۲) کدام گونه در مقابل اثرات تغییر اقلیم کمترین/ بیشترین تغییرات را نشان می‌دهد؟ و سرانجام (۳) کدام گونه را می‌توان به‌عنوان جایگزین محصولات کشاورزی در آینده توصیه کرد تا خطرات ناشی از تغییرات آب‌وهوا و تهدید آن برای امنیت غذایی جهان را کاهش دهد؟

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در ایران با موقعیت جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی قرارگرفته است (۱۱۴). مهم‌ترین کوهستان‌های گسترده این کشور شامل البرز (کمربند کمانی با رانش فعال) (۱۰۸ و ۱۰۹)، زاگرس (حاصل برخورد دو صفحه تکتونیکی اوراسیا و عربستان) (۴۲)، کوه‌های شمال‌غربی، رشته‌کوه‌های داخلی و رشته‌کوه‌های مکران (کوه‌های خاوری- باختری) (۶۷) و کپه داغ (فازهای آلپ پایانی) (۳) است. بخش مرکزی فلات ایران به‌واسطه احاطه-شدن با سدهای کوهستانی گسترده رطوبت پایینی را دریافت می‌کند، به‌شکلی‌که میانگین بارندگی سالیانه در حدود ۲۵۰ میلی‌متر (یک‌سوم متوسط بارندگی سالیانه جهانی) است (۶). براساس رده‌بندی اقالیم زیستی جهان (۹۳)، کشور ایران متأثر از اقلیم زیستی معتدله (دامنه‌های شمالی البرز و منطقه ارسباران، رشته‌کوه‌های البرز)، اقلیم زیستی مدیترانه‌ای (زاگرس و سایر رشته‌کوه‌های شمال‌غرب، داخلی و جنوب‌شرق) و اقلیم زیستی گرمسیری (نوار ساحلی خلیج فارس و دریای عمان و مناطق کم‌ارتفاع جنوب کشور) است. همچنین، ایران در بخش‌های کم‌ارتفاع سواحل خلیج فارس و دریای عمان در منطقه جغرافیایی سودانو–زامبزین، در دامنه‌های شمالی البرز و ارسباران در حیطه منطقه اروپا–سیبری و در سایر مناطق کوهستانی و بخش‌های مرکزی ایران در منطقه ایرانو–تورانی قرارگرفته است (۱۱۳). خاک‌های ایران نیز در سه طبقه قرار می‌گیرند: ۱) خشک (Arid) در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوبی کشور (۶۳ درصد منابع خاک ایران)، ۲) خیلی‌خشک (Xeric) در غرب، شمال‌غرب و شمال‌شرق (۲۵ درصد از منابع خاک ایران)، ۳) یوستیک (Ustic) در بخش‌های گرمسیری جنوب در نوار ساحلی خلیج فارس و دریای عمان و بخش‌های کم‌ارتفاع خوزستان، بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان (۱۰ درصد از منبع خاک کشور) (۱۸ و ۱۹).

جمع‌آوری داده‌های گونه‌ها

خویشاوندان وحشی شامل خانواده‌های بزرگی مانند خانواده سیب‌زمینی است که یکی از غنی‌ترین منابع گونه‌های کشاورزی

جدول ۱. گونه‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر

خانواده	جنس	گونه	میزان وقوع (GeoCAT-kew*)
Solanaceae	Atropa	*Atropa acuminate*	VU
	Datura	*Datura innoxia*	VU
		Datura stramonium	NT
	Hyoscyamus	*Hyoscyamus niger*	LC
		Hyoscyamus reticulatus	LC
	Physalis	*Physalis alkekengi*	VU
		Physalis divaricate	VU
	Solanum	*Solanum alatum*	VU
		Solanum dulcamara	NT
		Solanum incanum	VU
		Solanum luteum	VU
		Solanum nigrum	LC
		Solanum surratense	EN
	Withania	*Withania somnifera*	NT

* Geospatial Conservation Assessment Tool (ابزار ارزیابی حفاظت جغرافیایی)

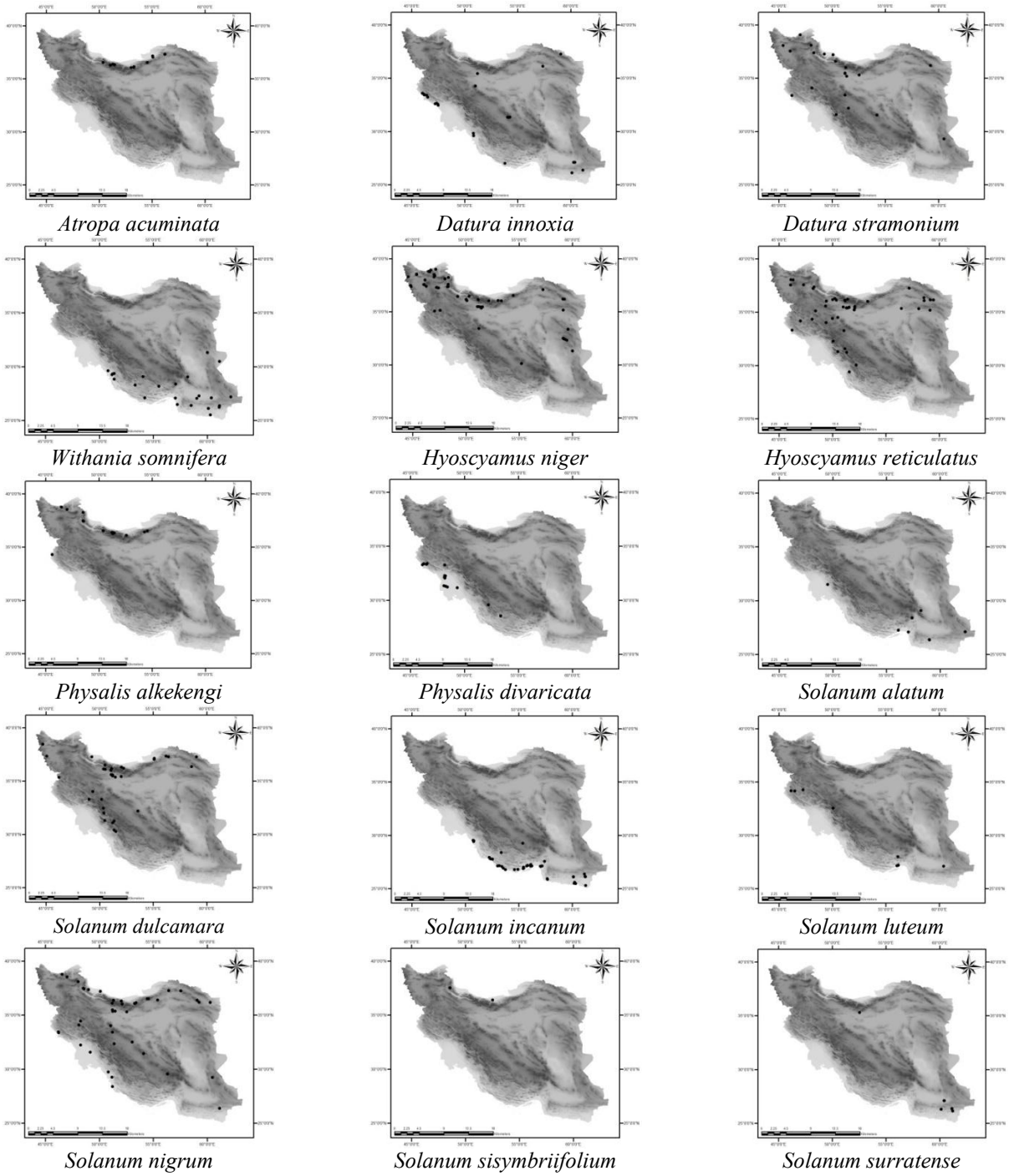
CR= Critically Endangered (بحرانی), LC= Least Concern (کمترین نگرانی), EN= Endangered (در معرض خطر),

VU= Vulnerable (آسیب‌پذیر), NT= Near Threatened (در شرف تهدید)

وابسته وحشی در ایران است. این خانواده به‌طورکلی شامل ۴۹ گونه بوده که از بین آن‌ها، ۱۴ گونه وابسته وحشی (جدول ۱) بر اساس تعداد و توزیع جمعیت هر گونه و همچنین اهمیت گونه‌ها در زمینه امنیت اقتصادی و غذایی انتخاب شده‌اند. داده‌های توزیع گونه‌ها (داده‌های حضور) شامل ۱۱۷۶ نقطه از ۱۴ گونه (شکل ۱) از جمع‌آوری‌های میدانی و بانک‌های اطلاعاتی موجود شامل فلورا ایرانیکا (۹۹)، فلور ایران (۵۳) و داده‌های هرباریوم‌های مختلف (HSBU، W و WU (مخفف هرباریوم‌ها طبق Thiers 2008)) به‌دست آمد. دایره‌المعارف Mansfeld گیاهان کشاورزی و باغبانی (۳۱)، بانک اطلاعاتی محصولات زراعی انگلستان (http://www.euromed.org.uk) و نیز Zeven & De Wet (۶۸)، مرجع ارزیابی، طبقه‌بندی و انتخاب خویشاوندان وحشی محصولات زراعی هستند.

آماده‌سازی متغیرهای محیطی و اقلیمی

در این مطالعه ابتدا با توجه به نظر کارشناسی و نیاز اکولوژیک این گونه‌ها، در مجموع ۱۹ متغیر محیطی شامل BIO1= میانگین دمای سالانه، BIO2= متوسط محدوده روزانه، BIO4= دمای فصلی، BIO7= دامنه دمای سالیانه، BIO12= بارش سالانه، BIO14= بارش خشک‌ترین ماه، BIO15= بارش فصلی، BIO17= بارش یک‌چهارم خشک سال، BIO18 = بارش یک‌چهارم گرم سال، شیب، عمق، محتوای کربن آلی خاک، عمق سنگ بستر، ظرفیت تبادل کاتیونی، تراکم ذرات خاک، مقدار رس، محتوای شن و ماسه، و شاخص pH مربوط به توزیع گونه‌های خانواده سیب‌زمینی انتخاب شدند. سپس همبستگی متغیرها با آزمون پیرسون (r) بررسی و تست شد. اگر دو متغیر همبستگی بالایی داشتند ($|r| > 0.70$)، برای جلوگیری از هم‌خطی یکی از آن‌ها با توجه به نظر کارشناسی انتخاب و دیگری حذف شد (۲۴). متغیرهای منتخب پس از آزمون همبستگی در جدول ۲ ارائه شده است. برای نشان دادن تأثیر تغییرات اقلیمی نیز متغیرهای پیش‌بینی‌شده آب‌وهوایی (سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰) از وب‌سایت تغییرات آب‌وهوایی، کشاورزی و امنیت غذایی (http://www.ccafs-climate.org) استخراج شدند. برای این منظور، از ۱۰ مدل گردش عمومی (GCM) تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای خوش‌بینانه (RCP۲,۶) و بدبینانه (RCP۸,۵) میانگین گرفته شده است.



شکل ۱. نقشه‌های پراکنش گونه‌های خویشاوند وحشی خانواده سیب‌زمینی در ایران

وضوح متغیرهای محیطی مورد استفاده در این مطالعه ۱ × ۱ کیلومتر بوده است.

تکنیک مدل‌سازی

از مدل MaxEnt (۸۸) برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها استفاده شد. این مدل (v3.4.1 jar file) از طریق بسته نرم‌افزاری dismo v1.1-4 (۳۹) در محیط برنامه‌نویسی R v3.2.3 (R Core Team, 2018) مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی مدل‌ها ۱۰ بار اعتبارسنجی متقابل (Cross Validation) انجام شد. در این راستا، داده‌ها به‌طور تصادفی به ۱۰ قسمت تقسیم

جدول ۲. متغیرهای اقلیمی و محیطی مورد استفاده برای گونه‌های خویشاوند وحشی خانواده سیب‌زمینی

منبع	متغیرها	تقسیم‌بندی
www.worldclim.org	BIO1 = میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) BIO2 = محدوده متوسط دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد) (میانگین ماهیانه حداکثر دما – حداقل دما) BIO4 = دمای فصلی (انحراف معیار ×۱۰۰) BIO7 = محدوده دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) (BIO5-BIO6) BIO12 = میزان بارش سالیانه (میلی‌متر) BIO14 = میزان بارش خشک‌ترین ماه سال (میلی‌متر) BIO15 = بارش فصلی (میلی‌متر) (ضریب تأثیر) BIO17 = بارش سه ماه خشک سال (میلی‌متر) BIO18 = بارش سه ماه گرم سال (میلی‌متر)	متغیرهای زیست‌اقلیمی
www.worldgrids.org www.isric.org	شیب (درجه) عمق (متر)	متغیرهای توپوگرافی
www.soilgrid.org https://www.isric.org/explore/soilgrids/faq-soilgrids	عمق سنگ بستر (سانتی‌متر) ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol(c)/kg) محتوای کربن آلی خاک (gkg^{-1}) تراکم ذرات بستر خاک (kg/dm^3) محتوای رس ((%) g/kg) محتوای شن ((%) g/kg) محتوای سیلت ((%) g/kg) شاخص pH (pH×10)	متغیرهای خاک‌شناسی

شد که نه قسمت آن برای ایجاد مدل و یک قسمت آن برای بررسی کارایی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۱۲، ۲۶، ۱۱۹ و ۱۲۱). به‌منظور تعیین متغیرهای اصلی محیطی که بر توزیع بالقوه گونه‌های مورد مطالعه تأثیر می‌گذارند از اهمیت جای‌گشتی (Permutation importance) در خروجی نرم‌افزار استفاده شد (۱). برای ارزیابی صحت نتایج مدل‌سازی، ناحیه زیر منحنی (AUC) (جدول ۳) در منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC) محاسبه شد (۵۷). دامنه AUC بین ۰ و ۱ است. مقادیر کمتر از ۰/۵ عملکرد پیش‌بینی تصادفی و مقادیر ۱ پیش‌بینی کامل را نشان می‌دهند. در حقیقت، مقادیر کمتر از ۰/۵ نشانگر مدل‌های نامناسب است (۲۳).

نتایج

پس از آزمون همبستگی، ۱۹ لایه از ۲۸ متغیر برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند که عبارتند از میانگین دمای سالیانه (BIO1)، محدوده متوسط دمای روزانه (BIO2)، دمای فصلی (BIO4)، محدوده دمای سالیانه (BIO7)، میزان بارش سالیانه (BIO12)، میزان بارش خشک‌ترین ماه سال (BIO14)، بارش فصلی (BIO15)، بارش سه ماه خشک سال (BIO17)، بارش سه ماه گرم سال (BIO18)، شیب، عمق، محتوای کربن آلی خاک، عمق سنگ بستر، ظرفیت تبادل کاتیونی، تراکم ذرات بستر خاک، محتوای رس، شن و ماسه و شاخص pH.

جدول ۳. طبقه‌بندی کمی و کیفی عملکرد مدل بر اساس شاخص AUC (۱۱۷)

ارزش AUC	عملکرد مدل
۰/۶ – ۰/۷	خیلی‌ضعیف
۰/۷ – ۰/۸	ضعیف
۰/۸ – ۰/۹	خوب
>۰/۹	عالی

جدول ۴. ارزیابی عملکرد مدل با توجه به شاخص اعتبار AUC

گونه	ارزش AUC	گونه	ارزش AUC
Atropa acuminate	۰/۹۹۱	*Solanum alatum*	۰/۹۰۹
Datura innoxia	۰/۹۴۳	*Solanum dulcamara*	۰/۸۹۴
Datura stramonium	۰/۸۴۸	*Solanum incanum*	۰/۹۷۲
Hyoscyamus niger	۰/۹۰۹	*Solanum luteum*	۰/۸۶۰
Hyoscyamus reticulatus	۰/۸۸۵	*Solanum nigrum*	۰/۸۳۵
Physalis alkekengi	۰/۹۷۹	*Solanum surratense*	۰/۹۷۶
Physalis divaricate	۰/۹۵۹	*Withania somnifera*	۰/۹۲۵

عملکرد مدل برای هر گونه در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر AUC، عملکرد کلی مدل برای *Atropa acuminata*، *Datura innoxia*، *Hyoscyamus niger*، *Physalis alkekengi*، *Physalis divaricata*، *Solanum alatum*، *Solanum incanum*، *Solanum surratense* و *Withania somnifera* عالی بوده و برای *Datura stramonium*، *Hyoscyamus reticulatus*، *Solanum dulcamara*، *Solanum luteum* و *Solanum nigrum* خوب بود. علاوه بر این، بالاترین مقدار AUC برای *Atropa acuminata* (۰/۹۹۱) و کمترین مقدار مربوط به *Solanum nigrum* (۰/۸۳۵) بود. بنابراین عملکرد مدل‌ها با توجه به نتایج ذکرشده قابل قبول است.

اهمیت متغیرها برای هر گونه در مقایسه با دیگر گونه‌ها متفاوت بوده است. به عنوان مثال برای گونه *Atropa acuminata*، محدوده متوسط دمای روزانه (BIO2)، بارش فصلی (BIO15) و میزان بارش خشک‌ترین ماه سال (BIO14) مهم‌ترین متغیرها بودند؛ برای جنس *Datura*، شیب، محتوای شن و محتوای رس و محتوای کربن آلی خاک؛ برای جنس *Hyoscyamus*، میانگین دمای سالیانه (BIO1)، میزان بارش سالیانه (BIO12) و محتوای کربن آلی خاک؛ برای جنس *Physalis*، عمق سنگ بستر و محتوای شن؛ برای جنس *Solanum*، میانگین دمای سالیانه (BIO1)، شیب، دمای فصلی (BIO4)، محتوای سیلت، میزان بارش سالیانه (BIO12)، بارش فصلی (BIO15) و شاخص pH و برای گونه *Withania somnifera*، میانگین دمای سالیانه (BIO1) و میزان بارش سالیانه (BIO12) از اهمیت بیشتری برخوردار است. در عین حال، میانگین دمای سالیانه (BIO1) و بارش فصلی و سالیانه (BIO12 و BIO15) مهم‌ترین متغیرها برای بیشتر گونه‌ها بودند (جدول ۵).

طبق جداول ۶ و ۷ و شکل ۲ همه گونه‌های مورد مطالعه تحت سناریوهای بدبینانه آب‌وهوایی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، کاهش و افزایش پراکنش نشان دادند، اما تفاوت‌هایی در بین گونه‌ها در ارتباط با نسبت کاهش و افزایش و نیز دامنه تغییرات مشاهده شد، به‌طوری‌که در گونه‌های *Atropa acuminate*، *Solanum*

جدول ۵. برآورد اهمیت متغیرها در مدل‌سازی MaxEnt برای گونه‌های موردمطالعه

متغیرها	*Atropa acuminate*	*Datura innoxia*	*Datura stramonium*	*Hyoscyamus niger*	*Hyoscyamus reticulatus*	*Physalis alkekengi*	*Physalis divaricate*	*Solamum alatum*	*Solamum dulcamara*	*Solamum incanum*	*Solamum luteum*	*Solamum nigrum*	*Solamum surratense*	*Withania somnifera*
میانگین دمای سالیانه	۰/۱	۱۷/۶***	۳/۷	۴۹/۷*	۲/۹	۷/۵	۱۳/۴**	۷۷/۵*	۵/۸	۲۳/۵**	-	۰/۸	۲۰***	۵۱/۱*
محدوده متوسط دمای روزانه	۲۷***	۱/۷	۲/۹	-	۳/۳	۲/۵	۴/۳	۱/۴	۱۱/۷	۵/۱	-	۲/۶	-	۲/۱
دمای فصلی	–	–	–	-	۱۶***	-	-	۹/۷**	-	۵۴*	۵۶/۸*	۱/۵	-	۰/۳
محدوده دمای سالیانه	–	–	–	-	-	۰/۷	۳/۲	-	-	-	-	-	-	-
میزان بارش سالیانه	۰/۱	۱/۱	۱/۴	۱۰/۶****	۳۰/۶**	۳/۸	-	-	۴/۸	۲/۴	۱۵***	۷/۹****	۴۰/۹*	۱۰/۵**
میزان بارش خشک‌ترین ماه سال	–	–	–	-	-	۰/۱	-	-	-	-	-	-	-	-
بارش فصلی	۳۹/۲*	۱۴/۶****	۱۲/۷****	۱۶/۹**	۷/۶****	۴/۲	-	-	۸/۹	۸/۲***	۶****	۷/۶	۳۶/۶**	۷/۵
بارش سه ماه خشک سال	–	–	–	-	-	-	۱۱/۷***	-	-	-	-	-	-	۹/۸***
بارش سه ماهه گرم سال	۲۸/۸**	۸/۵	۷/۴	-	-	-	-	-	-	۱/۴	-	-	-	-
شیب	–	۲۴/۲**	۲۶/۷*	۱۰/۹***	۴/۴	۱۵/۷****	-	۳/۲	۲۳/۶*	۰/۲	۱/۷	۱۳/۹***	۱/۳	۶
عمق	–	۲/۴	–	-	-	-	-	-	۱۳/۹***	-	-	-	-	-
عمق سنگ‌بستر	۰/۵	–	–	۴/۱	۳/۳	۳۲/۱*	۰/۳	-	-	-	-	-	-	۸/۴****
ظرفیت تبادل کاتیونی	–	–	–	۲/۷	-	-	-	۳/۴	-	۰/۱	-	-	۰/۲	-
محتوای کربن آلی خاک	–	۵/۴	۲۲/۹**	۱/۳	۳۱/۷*	۱۶/۴***	-	-	۱۸/۶**	-	۲/۵	-	-	-
تراکم ذرات بستر خاک	–	–	–	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۱	-	-
محتوای رس	–	–	۲۲/۴***	-	-	-	-	-	-	-	۱۸**	-	-	-
محتوای شن	۴/۲	۲۴/۷*	–	۳/۸	۰/۲	-	۶۰/۶*	-	۱۲/۶	۴/۹	-	-	-	۳/۶
محتوای سیلت	–	–	–	-	-	۱۷/۲**	-	-	-	-	-	۳۹/۶*	۰/۹	-
شاخص pH	–	–	–	-	-	-	۶/۳	۴/۸	-	۰/۲	-	۲۶/۱*	۰/۱	۰/۷

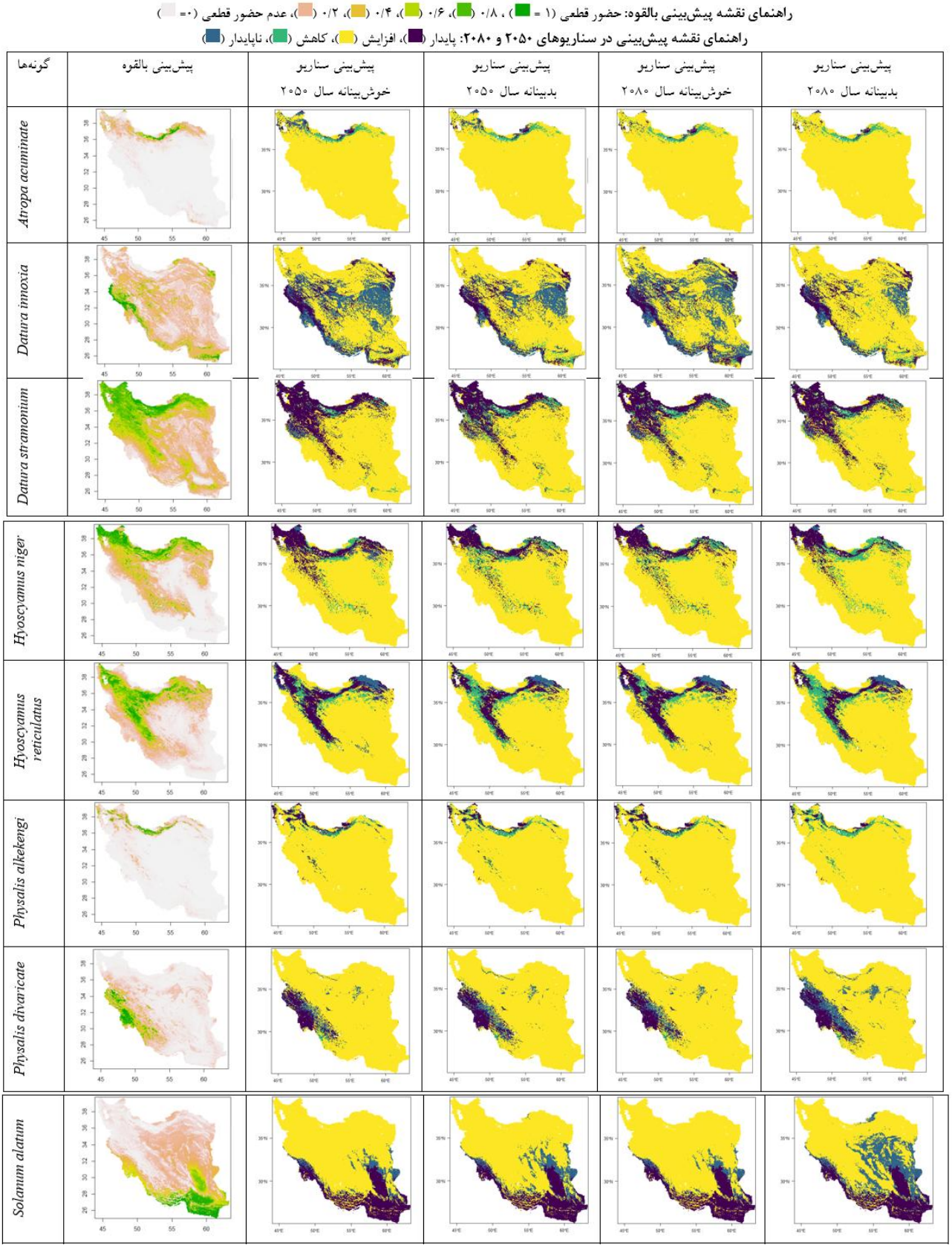
*رتبه اول اهمیت متغیر، ** رتبه دوم اهمیت متغیر، *** رتبه سوم اهمیت متغیر، **** رتبه چهارم اهمیت متغیر

جدول ۶. درصد افزایش، کاهش و تغییر در منطقه مناسب آب‌وهوایی (سناریو خوش‌بینانه سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰)

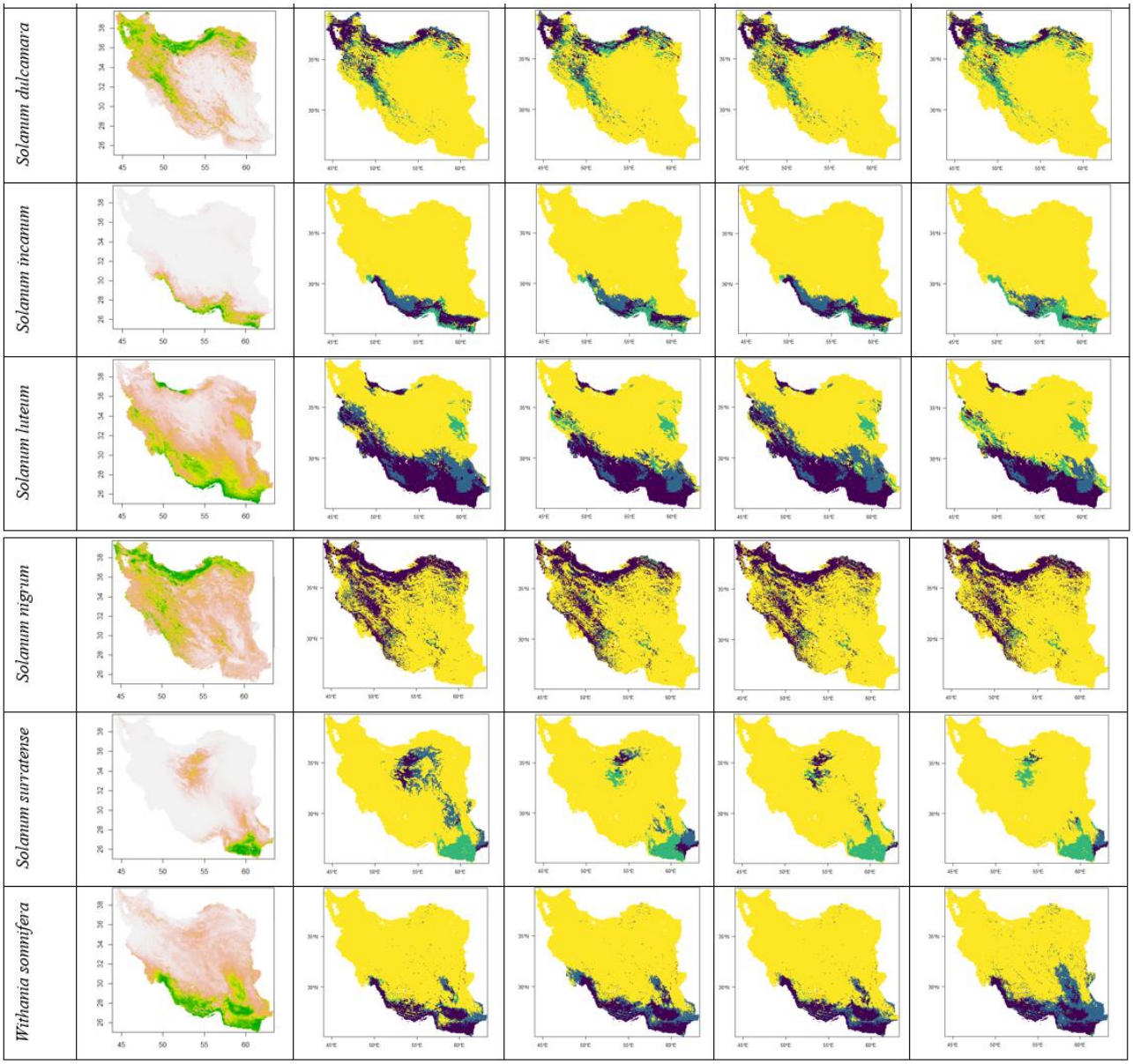
گونه‌ها	سناریوها – زمان					
	سناریو خوش‌بینانه سال ۲۰۵۰			سناریو خوش‌بینانه سال ۲۰۸۰		
	افزایش	کاهش	تغییر	افزایش	کاهش	تغییر
Atropa acuminate	۴۸/۹۸	۶۷//۳۶	−۱۸/۳۸	۱۵/۳۲	۷۴/۲۱	−۵۸/۸۹
Datura innoxia	۲۲۹/۵۵	۸/۷۴	۲۲۰/۸۲	۲۷۱/۱۹	۶/۸۱	۲۶۴/۳۸
Datura stramonium	۹/۷۵	۱۳/۵۷	−۳/۸۲	۴/۹۲	۲۵/۶۵	−۲۰/۷۳
Hyoscyamus niger	۱۵/۸	۲۶/۳	−۱۰/۵	۴/۵۳	۳۴/۳۹	−۲۹/۸۶
Hyoscyamus reticulatus	۲۸/۹۰	۳۰/۴۹	−۱/۵۹	۲۵/۹۳	۲۹/۹۹	−۴/۰۷
Physalis alkekengi	۲/۷۳	۴۷/۰۲	−۴۴/۳۰	۲/۱۴	۴۸/۴۸	−۴۶/۳۴
Physalis divaricate	۵۸/۶۷	۱۲/۷۳	۴۵/۹۴	۶۶/۷۹	۱۱/۱۶	۵۵/۶۳
Solanum alatum	۳۶/۱۳	۰/۰۴	۳۶/۱۰	۳۶/۱۷	۰/۰۳	۳۶/۱۴
Solanum dulcamara	۱۶/۱۷	۳۸/۰۸	−۲۱/۹۱	۱۳/۸۵	۳۸/۸۱	−۲۴/۹۶
Solanum incanum	۵۵/۷۶	۳۲/۰۵	۲۳/۷۲	۵۶/۰۹	۲۸/۷۱	۲۷/۳۸
Solanum luteum	۵۵/۸۲	۸/۰۲	۴۷/۸۱	۵۵/۵۱	۱۱/۰۹	۴۴/۴۳
Solanum nigrum	۲۲/۵۳	۷/۴۷	۱۵/۰۶	۱۳/۳۰	۱۱/۷۹	۱/۵۰
Solanum surratense	۹۶/۷۸	۶۸/۱۹	۲۸/۵۹	۳۷/۹۹	۷۶/۹۴	−۳۸/۹۵
Withania somnifera	۳۷/۲۸	۱۳/۲۶	۲۴/۰۳	۴۷/۶۶	۵/۵۴	۴۲/۱۲

جدول ۷. درصد افزایش، کاهش و تغییر در منطقه مناسب آب‌وهوایی (سناریو بدبینانه سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰)

گونه‌ها	سناریوها – زمان					
	سناریو بدبینانه سال ۲۰۵۰			سناریو بدبینانه سال ۲۰۸۰		
	افزایش	کاهش	تغییر	افزایش	کاهش	تغییر
Atropa acuminate	۳۵/۰۶	۷۰/۵۶	−۳۵/۵۰	۱۱/۱۳	۷۷/۵۸	−۶۶/۴۵
Datura innoxia	۱۵۹/۵۵	۱۷/۲۵	۱۴۲/۳۰	۱۱۰/۴۹	۲۱/۱۷	۸۹/۳۲
Datura stramonium	۴/۹۵	۲۶/۱۷	−۲۱/۲۱	۳/۸۵	۲۳/۶۸	−۱۹/۸۳
Hyoscyamus niger	۶/۴۱	۳۸/۴۳	−۳۲/۰۲	۳/۷۲	۴۹/۴۴	−۴۵/۷۲
Hyoscyamus reticulatus	۱۵/۸۸	۴۵/۸۶	−۲۹/۹۸	۱۴/۷۳	۵۰/۸۰	−۳۶/۰۸
Physalis alkekengi	۱/۷۶	۵۹/۵۰	−۵۷/۷۴	۰/۶۲	۷۴/۲۸	−۷۳/۶۶
Physalis divaricate	۷۵/۵۳	۸/۹۱	۶۶/۶۲	۱۳۵/۰۵	۴/۵۵	۱۳۰/۵۰
Solanum alatum	۵۸/۲۱	۰/۰۱	۵۸/۲۰	۸۴/۸۳	۰/۰۴	۸۴/۷۹
Solanum dulcamara	۱۱/۴۲	۴۴/۲۷	−۳۲/۸۵	۸/۶۰	۵۲/۵۵	−۴۳/۹۴
Solanum incanum	۵۵/۳۶	۵۵/۴۵	−۰/۰۸	۳۷/۱۸	۸۳/۸۱	−۴۶/۶۳
Solanum luteum	۳۳/۳۵	۱۶/۷۲	۱۶/۶۴	۲۴/۵۴	۲۶/۸۵	−۲/۳۱
Solanum nigrum	۱۲/۹۰	۱۳/۳۸	−۰/۴۷	۹/۴۷	۱۳/۲۲	−۳/۷۵
Solanum surratense	۱۷/۲۸	۷۷/۴۰	−۶۰/۱۲	۱۴/۴۶	۸۸/۶۲	−۷۴/۱۶
Withania somnifera	۷۶/۳۶	۲/۵۲	۷۳/۸۴	۱۲۰/۳۱	۲/۸۳	۱۱۷/۴۸



شکل ۲. پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مورد مطالعه تحت شرایط تغییرات اقلیمی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



ادامه شکل ۲. پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مورد مطالعه تحت شرایط تغییرات اقلیمی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

surratense، *Datura stramonium*، *Hyoscyamus niger*، *Hyoscyamus reticulatus*، *Physalis alkekengi* و *Solanum dulcamara* در تمام سال‌ها و سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه، نسبت کاهش بیشتر از افزایش بوده و در نتیجه دامنه تغییرات منفی است، یعنی این گونه‌ها از تغییر اقلیم منفعتی نبرده و بیشتر در معرض خطر هستند اگرچه در نواحی جدیدی پتانسیل نیز پیدا می‌کنند. از طرف دیگر در گونه‌های *Datura innoxia*، *Physalis divaricate*، *Solanum alatum* و *Withania somnifera* در تمام سال‌ها و سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه، نسبت افزایش بیشتر از کاهش بوده که در حقیقت این گونه‌ها به‌رغم از دست دادن برخی از زیستگاه‌های مطلوب حال حاضر، در نواحی جدید بیشتری پتانسیل پیدا می‌کنند که

در نهایت می‌توان گفت در برابر تغییر اقلیم منفعت نسبی به‌دست می‌آورند.

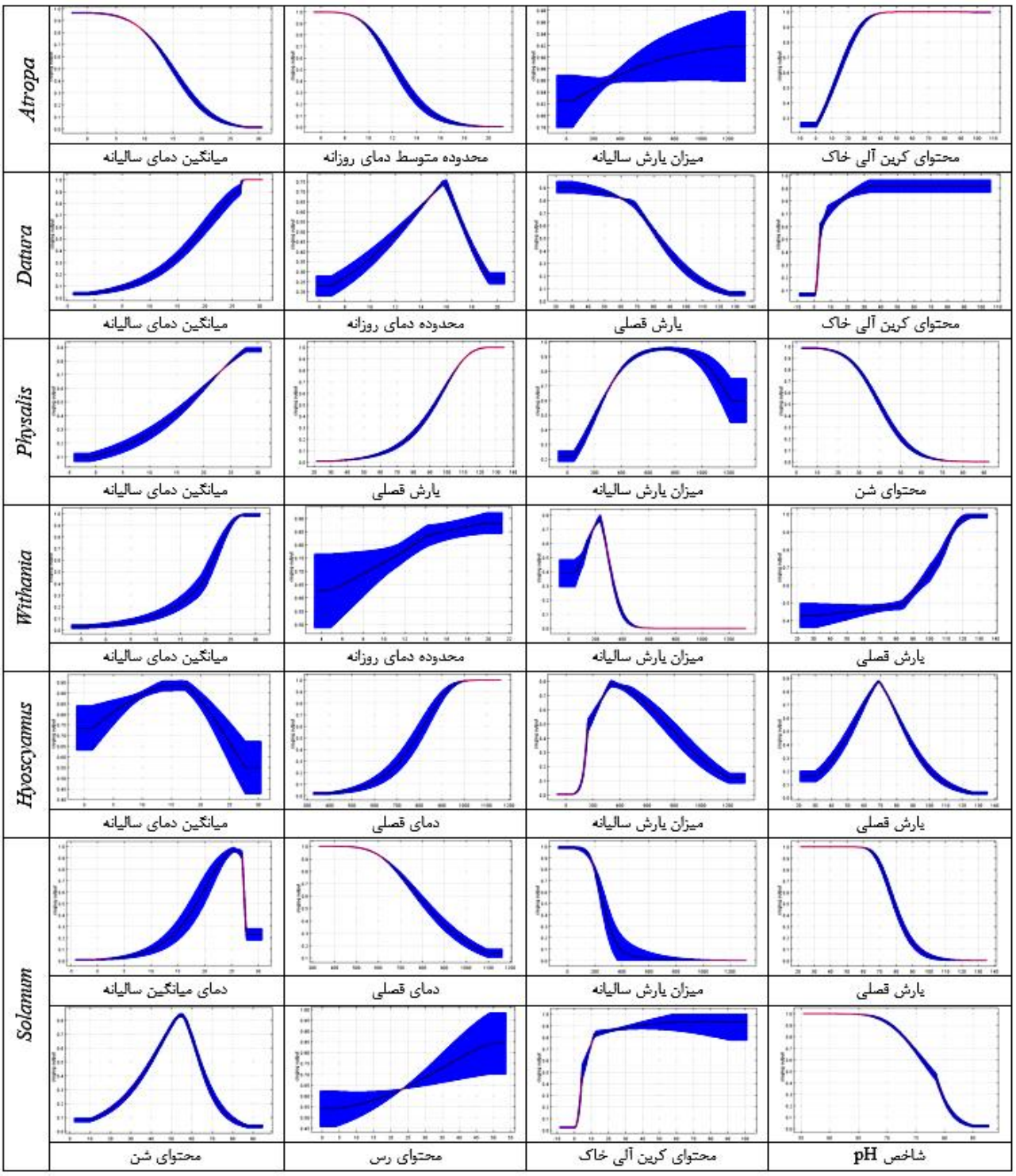
بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به گزارش‌های IPCC انتظار می‌رود تا سال ۲۱۰۰، تغییر اقلیم منجر به افزایش میانگین درجه حرارت کره زمین به میزان حدود ۵ درجه سانتی‌گراد شود (۸۳) و تمام کشورهای دنیا نیز از اثرات آن متأثر خواهند شد. بررسی این تأثیرات در کشور ایران به‌دلیل شرایط متنوع بوم‌شناختی و غنی بودن از بعد تنوع و اندمیسم گیاهی (۳۴) و نیز به‌عنوان یکی از مراکز تنوع و منشأ محصولات زراعی و خویشاوندان وحشی محصولات کشاورزی (۱۲۳) از اهمیت زیادی برخوردار است. بر اساس مطالعه Bellard و همکاران (۱۰)، تغییر اقلیم تأثیرات محسوسی بر عملکرد بخش کشاورزی گذاشته و تخمین زده می‌شود که در صورت عدم مدیریت بوم‌شناختی تغییرات اقلیمی، در آینده نزدیک عملکرد بخش کشاورزی به‌شدت کاهش یابد (۱۰). مطالعه‌ای که در این راستا انجام شده به‌خوبی اثرات تغییر اقلیم را بر خویشاوندان وحشی گونه‌های زراعی نشان داده است به‌طوری‌که برخی از گونه‌ها به احتمال بسیار زیاد با کاهش پراکنش در آینده مواجه خواهند شد و نیازمند استراتژی‌های لازم برای حفاظت و مدیریت هستند. به‌طور کلی گونه‌ها در مواجهه با تغییر اقلیم یکی از چهار سناریوی "کاهش مطلوبیت زیستگاه یا همان کاهش پراکنش گونه"، "افزایش مطلوبیت زیستگاه یا همان افزایش پراکنش گونه"، "هم کاهش و هم افزایش مطلوبیت زیستگاه یا همان افزایش و کاهش پراکنش گونه" و یا "ثابت‌بودن یا بدون تغییر در پراکنش گونه" را انتخاب می‌کنند. در این میان گونه‌هایی که دامنه پراکنش آن‌ها محدود شده یا کاهش می‌یابد در حقیقت با تأثیر منفی تغییر اقلیم مواجه هستند و برعکس گونه‌هایی که پراکنش آن‌ها افزایش می‌یابد از تغییر اقلیم سود می‌برند. دسته آخر گروه‌هایی هستند که تغییر اقلیم هیچ تأثیری بر آن‌ها ندارد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تمام گونه‌های این تحقیق با افزایش یا کاهش مطلوبیت زیستگاه و پراکنش روبرو هستند اما دامنه پراکنش برخی مثبت و برخی منفی بود. گونه‌هایی که دامنه پراکنش آنها منفی است بیشتر زیستگاه‌هایشان را از دست خواهند داد و برعکس آن‌هایی که دامنه پراکنش‌شان مثبت است زیستگاه‌های جدید بیشتری برایشان مطلوب می‌شود. طبق نتایج مطالعه حاضر، بیشترین تأثیر منفی تغییر اقلیم بر دامنه پراکنش گونه‌های *Physalis alkekengi*، *Solanum surratense*، *Atropa acuminata*، *Solanum dulcamara*، *Hyoscyamus niger*، *Datura stramonium* و *Hyoscyamus reticulatus* خواهد بود که احتمالاً منجر به کاهش محسوس زیستگاه این گونه‌ها در آینده می‌شود و در مقابل، گونه‌های *Datura innoxia*، *Physalis divaricate*، *Solanum alatum* و *Withania somnifera* که سازگاری بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر دارند، دامنه پراکنش‌شان احتمالاً بیشتر خواهد شد. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که فاکتورهای اقلیمی، خاک‌شناختی و ژئومورفولوژیک نقش مهمی در الگوی انتشار این گونه‌ها دارند (۲، ۲۹، ۳۲ و ۹۷). نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد که میانگین دمای سالیانه، میزان بارش سالیانه، دمای فصلی، محدوده متوسط دمای روزانه، بارش فصلی و بارش گرم‌ترین محدوده سال، شیب، محتوای شن، رس و سیلت، محتوای کربن آلی خاک و شاخص pH از مهم‌ترین عوامل اکولوژیک مؤثر بر انتشار گونه‌های مورد مطالعه بوده‌اند (شکل ۳).

نیاز آبی بالای گونه‌های *Physalis alkekengi* (۷ و ۶۴) و *Atropa acuminata* (۲۰، ۴۳، ۵۲، ۵۳، ۵۶ و ۶۱)، کاهش رشد و عملکرد گونه *Solanum nigrum* در دما و خشکی بیش از حد (۵۰ و ۷۹)، کاهش رشد *Hyoscyamus niger* در شرایط تنش خشکی (۲۸، ۳۳ و ۴۹)، کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر در گونه *Hyoscyamus reticulatus* در شرایط تنش شوری و خشکی (۱۱۸)، و نیاز رطوبتی بذر گونه *Datura stramonium* (۳۵ و ۷۴) نشانگر آسیب‌پذیری این گونه‌ها در برابر اثرات منفی تغییر اقلیم (کاهش رطوبت و افزایش دما) است که سبب تهدید شدید این گونه‌ها در آینده می‌شود. در مقابل مطالعات

شکل ۳. منحنی تأثیر متغیرهای با اهمیت در جنس‌های مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)



پیشین حاکی از گرمادوستی گیاه *Datura innoxia* و حساسیت آن به دمای پایین (۷۳ و ۱۰۷)، گرمادوستی گونه پنیرباد (*Withania somnifera*) (۷۱، ۱۰۳ و ۱۰۶) و خفتگی بذر در طول خشک‌سالی‌های طولانی در گونه *Physalis divaricate* (۱۲۰، ۱۲۶، ۱۲۷ و ۱۳۰) است که در نتایج مدل‌سازی مطالعه حاضر نیز مقاومت و سازگاری این گونه‌ها در خشک‌سالی‌های

آینده تأیید شد. بنابراین مطالعات سابق تأییدکننده یافته‌های این تحقیق هستند.

شناسایی افزایش و کاهش زیستگاه گونه‌ها در بحث تغییرات اقلیمی موضوع مهمی است (۳۶ و ۴۱) و با شناسایی آن‌ها، می‌توان هر گونه را با توجه به واکنش خاص آن در برابر تغییرات آب‌وهوایی مدیریت کرد. در این مطالعه تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر توزیع فضایی ۱۴ گونه تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مدل‌سازی شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد گونه‌های مختلف به‌طور متفاوت به تغییرات آب‌وهوایی پاسخ خواهند داد. در حقیقت، زیستگاه‌های مناسب هر گونه در آینده به‌تناوب ممکن است افزایش یا کاهش یابد. در هر حال لازم است برای حفاظت و مدیریت نواحی‌ای که پراکنش گونه‌ها در آن‌ها در آینده مطلوب یا نامطلوب خواهد شد برنامه‌ریزی شود.

به‌عنوان مثال، گونه‌های *Physalis alkekengi*، *Atropa acuminata* و *Solanum surratense* به‌دلیل حساسیت و تأثیرپذیری بسیار زیاد در برابر تغییرات محیطی مستعد کاهش پراکنش هستند. در عین حال گونه‌های فوق همراه با گونه *Solanum dulcamara* به‌دلیل تهدیدهای انسان‌ساخت (تغییر کاربری اراضی، چرای بی‌رویه دام و...) نیز در معرض تهدید قرار دارند. بنابراین باید از طریق حفاظت خارج از زیستگاه (مانند ذخیره‌سازی بذر، کشت بافت و...) حفاظت شوند. این درحالی است که گونه‌هایی که زیستگاه آن‌ها با تغییرات منفی محدودی مواجه می‌شود (*Hyocyamus niger*، *Hyocyamus reticulatus* و *Solanum incanum*) باید با طراحی ذخیره‌گاه‌های ژنتیکی یا مناطق حفاظت‌شده ذخایر ژنتیکی تحت حفاظت قرار گیرند تا تهدیدهای محیطی دیگر مانند چرای بی‌رویه، برداشت بی‌رویه و تغییرات کاربری زیستگاه آن‌ها به حداقل برسد. به‌علاوه آموزش مردم محلی و تبیین اهمیت این گونه‌های با ارزش و اقتصادی نقش بسیار مهمی در حفاظت از آن‌ها خواهد داشت.

گونه‌های *Solanum alatum*، *Physalis divaricate*، *Datura innoxia* و *Solanum nigrum* سازگاری بیشتری در برابر تأثیرات منفی تغییر اقلیم (مانند افزایش دما، کاهش بارندگی و...) دارند و جمعیت‌های متنوع این گونه‌ها به واسطه ارزش‌های زینتی، دارویی و غذایی دارای اکوتیپ و ژنوتیپ‌های ژنتیکی متنوعی در برابر تنش‌های منفی هستند که برنامه‌ریزی مدیریت اکولوژیک آن‌ها در داخل زیستگاه‌های طبیعی اعم از مناطق حفاظت‌شده یا ذخیره‌گاه‌های ژنتیکی، نقش مهمی در ثبات و پایداری آن‌ها خواهد داشت. از طرفی گونه‌های *Withania somnifera*، *Solanum luteum* و *Solanum alatum* در مناطق خشک به‌ویژه در مناطقی که بارندگی کم است، سازگاری زیادی دارند (۷۱ و ۹۱). بنابراین این گونه‌ها در برابر تنش خشکی در سال‌های آتی مقاوم بوده و از توان بالقوه‌ای برای نفوذ به عرض‌های جغرافیایی بالاتر برخوردارند. این سازگاری از دو بعد اهمیت دارد: اول آنکه در صورت وجود قابلیت تهاجم، اثرات آللوپاتیک و غیره می‌تواند تأثیرات منفی را به محیط تحمیل نماید، به‌گونه‌ای‌که این گونه‌های مهاجم ممکن است عملکرد اکوسیستم را تغییر داده و سبب کاهش جمعیت و انقراض گونه-های بومی شوند (۷۸ و ۹۲). به‌علاوه ممکن است با کاهش کیفیت خاک، روند کشت محصولات کشاورزی را با مشکل مواجه نمایند (۲۱، ۵۵ و ۷۲). به همین لحاظ داشتن برنامه مدیریتی با شناخت واکنش گونه‌ها بسیار ضروری است.

با وجود پیچیدگی فرایند تغییر اقلیم و قطعیت نسبی در سناریوهای تغییر اقلیم (۹۵) و فناوری‌های مدل‌سازی (۲۴ و ۳۰)، باز هم این مدل‌سازی‌ها می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد تهدیدهای تنوع زیستی، محدوده‌های توزیع گونه‌ها در آینده، غنای گونه‌ای و ترکیب گونه‌ها ارائه دهد و در نتیجه بر اساس این نتایج می‌توان به ایده‌هایی برای طراحی شیوه‌ها و تعیین اولویت‌های حفاظتی و حتی طراحی شبکه‌های حفاظتی برای گونه‌ها و مناطق دست یافت (۲۴ و ۱۲۸) که مدیران محیط‌زیست می‌توانند بر اساس آن در راستای مدیریت تنوع زیستی اقدام نمایند. این مطالعه که برای اولین بار به مدل‌سازی تأثیرات تغییر اقلیم بر بخش مهمی از خزانه‌های ژنتیکی کشور

و خویشاوندان محصولات زراعی پرداخته، توانسته زیستگاه‌های بالقوه و روند تغییرات این گونه‌ها در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ را تا حد زیادی پیش‌بینی کند. به‌علاوه نتایج این مطالعه بر ضرورت برنامه‌ریزی‌های حفاظت از ذخایر ژنتیکی کشور شامل پایش دوره‌ای منظم، ارزیابی تغییرات اکولوژیک و جمعیت-شناختی تأکید می‌نماید و می‌تواند به‌عنوان یک مطالعه پایلوت و الگو برای سایر ذخایر ژنتیکی گیاهی کشور به‌کار گرفته شود.

منابع مورد استفاده

1. Abdelaal, T., L. Michielsen, D. Cats, D. Hoogduin, H. Mei, M. J. Reinders and A. Mahfouz. 2019. A comparison of automatic cell identification methods for single-cell RNA sequencing data. *Genome biology* 20(1): 194.
2. Adams, P. D. 2007. Insurance against catastrophic climate change: how much will an emissions trading scheme cost Australia?. *Australian Economic Review* 40(4): 432-452.
3. AfsharHarb, A. 1979. The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the Kopet Dagh region, Northern Iran. Doctoral dissertation, Imperial College London, University of London.
4. Akhani, H. 2006. Biodiversity of halophytic and sabkha ecosystems in Iran. pp. 71-88, In: M. Ajmal Khan, B. Böer, G. S. Kust and H. Barth (eds.), Sabkha ecosystems, Chapter 16, Volume 42. Springer, Dordrecht.
5. Akhani, H., M. Djamali, A. Ghorbanalizadeh and E. Ramezani. 2010. Plant biodiversity of Hyrcanian relict forests, N. Iran: an overview of the flora, vegetation, palaeoecology and conservation. *Pakistan Journal of Botany* 42: 231-258.
6. Amiri, M. J. and S. S. Eslamian. 2010. Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology* 3(4): 208-216.
7. Asano, N., A. Kato, K. Oseki, H. Kizu and K. Matsui. 1995. Calystegines of *Physalis alkekengi* var. *francheti* (Solanaceae) structure determination and their glycosidase inhibitory activities. *European Journal of Biochemistry* 229: 369-376.
8. Ashraf Vaghefi, S., M. Keykhai, F. Jahanbakhshi, Zh. Sheikholeslami, A. Ahmadi, H. Yang and K. Abbaspour. 2019. The future of extreme climate in Iran. *Sceintific Report* 9: 1-16.
9. Ashrafzadeh, A., M. A. Ghorbani, S. M. Biazar and Z. M. Yaseen. 2019. Evaporation process modelling over northern Iran: application of an integrative data-intelligence model with the krill herd optimization algorithm. *Hydrological Sciences Journal* 64(15): 1843-1856.
10. Bellard, C., C. Bertelsmeier, P. Leadley, W. Thuiller and F. Courchamp. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters* 15(4): 365-377.
11. Berg, G., M. Grube, M. Schloter and K. Smalla. 2014. Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. *Frontiers in microbiology* 5: 148.
12. Bosso, L., H. Rebelo, A. P. Garonna and D. Russo. 2013. Modelling geographic distribution and detecting conservation gaps in Italy for the threatened beetle Rosalia alpina. *Journal for Nature Conservation* 21(2): 72-80.
13. Buisson, L., W. Thuiller, S. Lek, P. U. Y. Lim and G. Grenouillet. 2008. Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology* 14(10): 2232-2248.
14. Buryakovsky, L., F. Aminzadeh and G. V. Chilingarian. 2001. Petroleum geology of the south Caspian Basin. Gulf Professional Publishing.
15. Caro, T. 2010. Conservation by Proxy. Island Press, USA.
16. D'Arcy, W. G. 1991. The Solanceae since 1976, with a review of its biogeography. pp. 75-137, In: Hawkes, Lester, Nee, and Estrada (eds.), Solanceae III: taxonomy, chemistry, evolution. Royal Botanical Gardens, Kew, London.
17. D'Arcy-Lameta, A. 1986. Study of soybean and lentil root exudates. *Plant and Soil* 92(1): 113-123.
18. De Pauw, E., A. Ghaffari and V. Ghasemi. 2004. Agroclimatic zones map of Iran, explanatory notes. ICARDA, Aleppo.
19. Dewan, M. L. and J. Famouri. 1964. The soils of Iran. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
20. Dhar, U. and P. Kachroo. 1983. Alpine Flora of Kashmir Himalaya. Scientific Publishers, the University of Michigan.
21. Duarte, C. M., K. A. Pitt, C. H. Lucas, J. E. Purcell, S. I. Uye, K. Robinson and L. Madin. 2013. Is global ocean sprawl a cause of jellyfish blooms?. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(2): 91-97.

22. Dudgeon, D., A. H. Arthington, M. O. Gessner, Z. I. Kawabata, D. J. Knowler, C. Lévêque and C. A. Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews* 81(2): 163-182.
23. Elith, J., H. Graham, P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan and J. Li. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2): 129-151.
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.
25. Fabeiro, C. M. D. S. O. F., F. M. de Santa Olalla and J. A. De Juan. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management* 48(3): 255-266.
26. Fois, M., A. Cuena-Lombraña, G. Fenu and G. Bacchetta. 2018. Using species distribution models at local scale to guide the search of poorly known species: review, methodological issues and future directions. *Ecological Modelling* 385: 124-132.
27. Ghahreman, A. 1997. Iranian color flora, The Illustrated Flora of Golestan National Park, Iran.
28. Ghorbanpour, M., M. Hatami and K. Khavazi. 2013. Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloid production of Hyoscyamus niger under water deficit stress. *Turkish Journal of Biology* 37(3): 350-360.
29. Goodarzi, M., M. Pourhashemi and Z. Azizi. 2019. Investigation on Zagros forests cover changes under the recent droughts using satellite imagery. *Journal of Forest Science* 65(1): 9-17.
30. Guisan, A., and W. Thuiller 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters* 8(9): 993-1009.
31. Hanelt, P. 2001. Institute of plant genetics and crop plant research (IPK). In: Mansfeld's Encyclopedia of Agricultural and Horticultural Crops, Volume 3. Springer, Berlin, Germany.
32. Hanson, H. C. and E. D. Churchill. 1961. The plant community. Reinhold Pub. Corporation, New York.
33. Hashimoto, T. and Y. Yamada. 1983. Scopolamine production in suspension cultures and redifferentiated roots of *Hyoscyamus niger*. *Planta Medica* 47: 195.
34. Hedge, I. C. and P. Wendelbo. 1978. Patterns of distribution and endemism in Iran. *Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh* 36(2): 441-464.
35. Heikkinen, R. K., M. Luoto, M. B. Araújo, R. Virkkala, W. Thuiller and M. T. Sykes. 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* 30(6): 751-777.
36. Heino, J. 2010. Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? *Ecological Indicators* 10(2): 112-117.
37. Heiser, C. B. 1969. Nightshades, the paradoxical plants. Freeman & Company, San Francisco.
38. Heywood, V. H. and M. E. Dulloo. 2005. In situ conservation of wild plant species: a critical global review of best practices. IPGRI Technical Bulletin 11. IPGRI, Rome, Italy.
39. Hijmans, R. J., S. Phillips, J. Leathwick, J. Elith and M. R. J. Hijmans. 2017. Package 'dismo'. *Circles* 9(1): 1-68.
40. Hodgkin, T., R. Hajjar and N. Maxted. 2008. Using crop wild relatives for crop improvement: trends and perspectives. *Crop wild relative conservation and use*: 535-548.
41. Holden, N. M., A. J. Brereton, R. Fealy and J. Sweeney. 2003. Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agricultural and Forest Meteorology* 116: 181-196.
42. Homke, S. 2007. Timing of shortening and uplift of the Posht-e kuh arc in the zagros fold-and-thrust belt (Iran). A combined magnetostratigraphy and apatite thermochronology analysis, Doctoral dissertation. Universitat de Barcelona, Barcelona..
43. Hornok, L. and J. Bernáth. 1978. Gyógyno¨vények termesztése és feldolgozása. Mezőgazdasági Kiadó, Hungary.
44. Hulme, M., J. Mitchell, W. Ingram, J. Lowe, T. Johns, M. New and D. Viner. 1999. Climate change scenarios for global impacts studies. *Global Environmental Change* 9: S3-S19.
45. Hunter, D. and V. Heywood. 2011. Crop wild relatives: a manual of in situ conservation. Earthscan, London, Washington, DC.
46. IPCC. 2007. Summary for policy makers, climate change 2007: the physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
47. Jain, R., A. Sharma, S. Gupta, I. P. Sarethy and R. Gabrani. 2011. *Solanum nigrum*: current perspectives on therapeutic properties. *Alternative Medicine Review* 16 (1): 78-85.
48. Jalil, A. and Z. Jamzad. 1999. Red data book of Iran: a preliminary survey of endemic, rare and endangered plant species in Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran.

49. Jan, S., A. N. Kamili, J. A. Parray, Y. S. Bedi and P. Ahmad. 2016. Microclimatic variation in UV perception and related disparity in tropane and quinolizidine alkaloid composition of Atropa acuminata, Lupinus polyphyllus and Hyoscyamus niger. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 161:230-235.
50. Jian, L., L. Qingwang, F. Tao and L. Kun. 2008. Aqueous extract of *Solanum nigrum* inhibit growth of cervical carcinoma (U14) via modulating immune response of tumor bearing mice and inducing apoptosis of tumor cells. *Fitoterapia* 79 (7-8): 548-556.
51. Jimoh, F. O., A. A. Adedapo and A. J. Afolayan. 2010. Comparison of the nutritional value and biological activities of the acetone, methanol and water extracts of the leaves of *Solanum nigrum* and *Leonotis leonorus*. *Food and Chemical Toxicology* 48(3): 964-971.
52. Kafash, A., S. Ashrafi, A. Ohler, M. Yousefi, S. Malakoutikhah, G. Koehler and B. R. Schmidt. 2018. Climate change produces winners and losers: differential responses of amphibians in mountain forests of the Near East. *Global Ecology and Conservation* 16: p.e00471.
53. Khatamsaz, M. 1998. Solanaceae (No. 24), Flora of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran.
54. Ladiges, P. Y., C. E. Marks and G. Nelson. 2011. Biogeography of Nicotiana section Suaveolentes (Solanaceae) reveals geographical tracks in arid Australia. *Journal of Biogeography* 38(11): 2066-2077.
55. Lakićević, M. D. and E. M. Mladenović. 2018. Non-native and invasive tree species-their impact on biodiversity loss. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke* 134: 19-26.
56. Largo, M. 2014. Big, bad botany: deadly nightshade (*Atropa belladonna*), The poisonous A-Lister. The Big, Bad Book of Botany: The World's Most Fascinating Flora. William Morrow Paperbacks, Illustrated edition.
57. Lobo, J. M., A. Jiménez-Valverde and R. Real. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17(2): 145-151.
58. Lynch, M., R. Lande, P. M. Kareiva, J. G. Kingsolver and R. B. Huey. 1993. Biotic interactions and global change. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
59. Mahsafar, H., R. Maknoon and B. Saghafian. 2018. The impact of climate change on water level of Urmia Lake. *Marine Sciences* 2(2): 83-94.
60. Majnounian, B. and B. Sadeghi. 2005. Determination of optimum lime percent content for forest road soils stabilization and treatment in Namkhaneh District of Kheiroodkenar Research Forest. *Iranian journal of natural resources* 57(4): 663-674..
61. Maliani, C. M. H. 1986. Distribución, ecología y conservación de "Atropa baetica" Willk (Solanaceae) en la Sierra de Cazorla. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 43(2): 387-398.
62. Maqbool, F., S. Singh, Z. A. Kaloo and M. Jan. 2014. Medicinal importance of genus Atropa (Royle)- a review. *International Journal of Advanced Research* 2(2): 48-54.
63. Margules, C. R. and R. L. Pressey. 2000. Systematic conservation planning. *Nature 405*(6783): 243-253.
64. Martínez, Y. and M. L. Díaz. 1993. Systematics of Physalis (Solanaceae) section Epeteiorhiza, PhD Dissertation. University of Texas, Austin.
65. Martinez-Ghersa, M. A., E. H. Satorre and C. M. Chersa. 2003. Effect of soil water content and temperature on dormancy breaking and germination of three weeds. *Weed Science* 45: 791-797.
66. Maxted, N., S. Kell, Á. Toledo, E. Dulloo, V. Heywood, T. Hodgkin and B. Ford-Lloyd. 2010. A global approach to crop wild relative conservation: securing the gene pool for food and agriculture. *Kew Bulletin* 65(4): 561-576.
67. McCall, G. J. H. 1997. The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of Southern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 15(6): 517-531.
68. Mozaffari, A., M. Mostahfezyan and A. Amirtash. 2009. Comparison of general health and quality of working life of faculty members with nonactive Iranians in Islamic Azad Universities. *Sport Management Studies* 1388(4).
69. 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(10): 1058-1069.
70. Minghetti, E., L. Olivera and S. I. Montemayor. 2020. Ecological niche modelling of Gargaphia decoris (Heteroptera), a biological control agent of the invasive tree *Solanum mauritianum* (Solanales: Solanaceae). *Pest Management Science* 76(4): 1273-1281.
71. Mirjalili, M. H., E. Moyano, M. Bonfill, R. M. Cusido. and J. Palazón. 2009. Steroidal lactones from Withania somnifera, an ancient plant for novel medicine. *Molecules* 14(7): 2373-2393.
72. Molnar, J. L., R. L. Gamboa, C. Revenga and M. D. Spalding. 2008. Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(9): 485-492.
73. Mubarak, B. and F. Hussain. 1978. Biochemical inhibition exhibited by Datura innoxia M. seeds. *Pakistan Journal of Botany* 10(2): 149-156.

74. Muths, E., T. Chambert, B. R. Schmidt, D. A. W. Miller, B. R. Hossack, P. Joly, O. Grolet, D. M. Green, D. S. Pilliod, M. Cheylan and R. N. Fisher. 2017. Heterogeneous responses of temperate-zone amphibian populations to climate change complicates conservation planning. *Scientific Reports* 7(1): 1-10.
75. Nisar, A., A. H. Malik and M. A. Zargar. 2013. Atropa acuminata blunts production of pro-inflammatory mediator's eicosanoids, Leukotrienes, cytokines in vitro and in vivo models of acute inflammatory responses. *Journal of Ethnopharmacology* 147(3): 584-594.
76. Noroozi, J., H. Akhani and S. W. Breckle. 2008. Biodiversity and phytogeography of the alpine flora of Iran. *Biodiversity and Conservation* 17(3): 493-521.
77. Nu´n˜ez-Farfa´n, J. and R. Dirzo. 1994. Evolutionary ecology of *Datura stramonium* L. in central Mexico: natural selection for resistance to herbivorous insects. *Evolution* 48: 423-436.
78. Occhipinti-Ambrogi, A. 2007. Global change and marine communities: alien species and climate change. *Marine pollution bulletin* 55(7-9): 342-352.
79. Ogg Jr., A. G., B. S. Rogers and E. E. Schilling. 1981. Characterization of black nightshade (*Solanum nigrum*) and related species in the United States. *Weed Science* 29(1): 27-32.
80. Parashuram, M. 2011. Isolation of 11, 12, 13, 17-Tetrahydroxy-(Hydroxymethyl)-10-Nitrodotriacontahydrospiro [Indeno [5, 6-A] Hexacene-2, 2′-Pyran]= 3, 6 (1H, 18bh) Dione and its spectroscopic characterization and biological activities of bimetals from seeds of Datura stramonium. *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research* 3(1): 501-506.
81. Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421(6918): 37-42.
82. Pavek, D. and E. Garvey. 1999. The American Wild Relatives of crops: in situ conservation guidelines. Report from the in situ subcommittee of the Plant Germplasm Operations Committee, USDA-ARS.
83. Pearson, C. 2010. The cost of bad behavior: how incivility is damaging your business and what to do about it. *Human Resource Management International Digest*, Vol. 18, No. 6. https://doi.org/10.1108/hrmid.2010.04418fae.002.
84. Peterson, A. T. and J. Soberón. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação* 10(2): 102-107.
85. Peterson, T. C., K. M. Willett and P. W. Thorne. 2011. Observed changes in surface atmospheric energy over land. *Geophysical Research Letters* 38(16): 1-6.
86. Phillips, J. D., D. A. Marion and A. V. Turkington. 2008. Pedologic and geomorphic impacts of a tornado blowdown event in a mixed pine-hardwood forest. *Catena* 75(3): 278-287.
87. Phillips, K. W., G. B. Northcraft and M. A. Neale. 2006. Surface-level diversity and decision-making in groups: when does deep-level similarity help?. *Group Processes & Intergroup Relations* 9(4): 467-482.
88. Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190(3-4): 231-259.
89. Phillips, S. J., M. Dudík, J. Elith, C. H. Graham, A. Lehmann, J. Leathwick and S. Ferrier. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological applications* 19(1): 181-197.
90. Pimm, S. L., C. N. Jenkins, R. Abell, T. M. Brooks, J. L. Gittleman, L. N. Joppa and J. O. Sexton. 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* 344(6187): 938-1048.
91. Prajapati, N. D. 2003. Handbook of medicinal plants. Agrobios, India.
92. Rahel, F. J. and J. D. Olden. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation biology* 22(3): 521-533.
93. Rivas-Martínez, S., D. Sánchez-Mata and M. Costa. 1999. Boreal and western temperate forest vegetation (syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America II). *Itinera Geobotanica* 12: 3-311.
94. Roughgarden, J. 1979. Theory of population genetics and evolutionary ecology: an introduction. Macmillan, New York.
95. Sadr Gaen, S. H., H. Nakhjavani Moghaddam and J. Baghani. 2011. Effect of spacing and different levels of water on potato yield in drip irrigation method (type) in Firouzkouh. *Journal of Irrigation and Drainage* 1: 99-108.
96. Samuels, J. 2015. Biodiversity of food species of the Solanaceae family: a preliminary taxonomic inventory of subfamily Solanoideae. *Resources* 4(2): 277-322.
97. Sayadi, S. and A. Mehrabian. 2017. Diversity and distribution patterns of Solanaceae in Iran: implications for conservation and habitat management with emphasis on endemism and diversity in SW Asia. *Rostaniha* 17(2): 136-160.

98. Scaldaferro, M. A., G. E. Barboza and M. C. Acosta. 2018. Evolutionary history of the chili pepper *Capsicum baccatum* L. (Solanaceae): domestication in South America and natural diversification in the Seasonally Dry Tropical Forests. *Biological Journal of the Linnean Society* 124(3): 466-478.
99. Schönbeck-Temesy, E. 1972. Flora Iranica: Flora des iranischen Hochlandes und der umrahmenden Gebirge; Persien, Afghanistan, Teile von West-Pakistan, Nord-Iraq, Azerbaidjan, Turkmenistan. Solanaceae (N. 100). Verlag des Naturhistorischen Museums, Wien.
100. Shakur, A., G. H. Roshan, R. Najafe and A. Kanei. 2010. Evaluating climatic potential for palm cultivation in Iran with emphasize on degree-day index, *African Journal of Agricultural Research* 13: 99-118.
101. Shapcott, A., R. W. Lamont, G. Conroy, H. E. James and Y. Shimizu-Kimura. 2017. Genetics and species distribution modelling of *Solanum johnsonianum* (Solanaceae) reveal impacts of brigalow land clearing on this endemic species. *Conservation Genetics* 18(6): 1331-1346.
102. Sharma, R., H. Singh, M. Kaushik, R. Nautiyal and O. Singh. 2018. Adaptive physiological response, carbon partitioning, and biomass production of Withania somnifera (L.) Dunal grown under elevated CO2 regimes. *3 Biotech* 8(6): 267.
103. Sheth, S. N., and A. L. Angert. 2014. The evolution of environmental tolerance and range size: a comparison of geographically restricted and widespread Mimulus. *Evolution* 68(10): 2917-2931.
104. Shonle, I. and J. Bergelson. 2000. Evolutionary ecology of the tropane alkaloids of Datura stramonium L. (Solanaceae). *Evolution* 54(3): 778-788.
105. Singh, P., R. Guleri, V. Singh, G. Kaur, H. Kataria, B. Singh, G. Kaur, S. C. Kaul, R. Wadhwa, R. and P. K. Pati. 2015. Biotechnological interventions in *Withania somnifera* (L.) Dunal. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* 31(1-2): 1-20.
106. Sood, S. K., S. Kumar, K. S. Dogra and R. Sharma. 2011. Alien plants distribution and ecology in the Temple-Courtyards of Himachal Pradesh (NW Himalaya). *Himachal Pradesh University Journal* 1: 1-11.
107. Stöcklin, J. 1974. Possible ancient continental margins in Iran. pp. 873-887, In: C. A. Burk and C. L. Drake (eds.), The geology of continental margins. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-01141-6_64.
108. Stöcklin, J. 1977. Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia. *Mémoires de la Société Géologique de France* 8: 333-353.
109. Sugden, A. M. 2017. Consequences of shifting species distributions. *Science* 355: 1386-1388.
110. Takhtajan, A., T. J. Crovello and A. Cronquist. 1986. Floristic regions of the world. Berkeley: University of California press, London.
111. Taleghani, A. M. 2005. Geomorphology of Iran. Ghomes, Iran.
112. Tewksbury, J. J., G. P. Nabhan, D. Norman, H. Suzán, J. Tuxill and J. Donovan. 1999. In situ conservation of wild chiles and their biotic associates. *Conservation Biology* 13(1): 98-107.
113. Thuiller, W., C. Albert, M. B. Araujo, P. M. Berry, M. Cabeza, A. Guisan and M. T. Sykes. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics* 9(3-4): 137-152.
114. Tuan, T. A., H. V. Long, R. Kumar, I. Priyadarshini and N. T. K. Son. 2019. Performance evaluation of Botnet DDoS attack detection using machine learning. *Evolutionary Intelligence* 13: 283-294.
115. Vafadar, M., Z. Ghaderi Habib and E. Vatankhah. 2018. Effect of salt stress on some physiological and biochemical aspects of Henbane (*Hyoscyamus reticulatus* L.). *Journal of Plant Process and Function* 7(26): 85-100.
116. Valavi, R., J. Elith, J. J. Lahoz-Monfort and G. Guillera-Arroita. 2019. block CV: an R package for generating spatially or environmentally separated folds for k-fold cross-validation of species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution* 10(2): 225-232.
117. Vargas Ponce, O. 2003. La Familia Solanaceae en Jalisco: el Género Physalis. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Mexico.
118. Vasconcelos, R., X. Santos and M. A. Carretero. 2012. High temperatures constrain microhabitat selection and activity patterns of the insular Cape Verde wall gecko. *Journal of Arid Environments* 81: 18-25.
119. Vasileiadis, V. P., J. Robert, L. G. Froud-Williams, I. G. Eleftherohorinos. 2010. Tillage and herbicide treatments with inter-row cultivation influence weed densities and yield of three industrial crops. *Weed Biology and Management* 12(2): 84-90.
120. Vavilov, N. I. 1926. Centers of origin of cultivated plants. NI Vavilov origin and geography of cultivated plants. Acme Agency, Buenos Aires.
121. Vermeulen, S. J., P. Aggarwal, A. Ainslie, C. Angelone, B. M. Campbell, A. J. Challinor, J. W. Hansen, J. S. I. Ingram, A. Jarvis, P. Kristjanson and C. Lau. 2010. Agriculture, food security and climate change: outlook for

knowledge, tools and action. Background paper prepared for The Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change, (No. H044643). International Water Management Institute.
122. Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. Beebee and F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416(6879): 389-395.
123. Waterfall, U. T. 1958. A taxonomic study of the genus Physalis in North America North of Mexico. *Rhodora* 60: 107-173.
124. Waterfall, U. T. 1967. Physalis in Mexico, Central America, and the West Indies. *Rhodora* 69: 82- 329.
125. Weaver, S., V. Dirks and S. Warwick. 1985. Variation and climatic adaptation in northern populations of *Datura stramonium*. *Canadian Journal Botany* 63: 1303-1308.
126. Whitson, M. and P. S. Manos. 2005. Untangling Physalis (Solanaceae) from the Physaloids: a two-gene phylogeny of the Physalinae. *Systematic Botany* 30(1): 216-230.
127. Yi, C., S. M. An, K. Kim, H. G. Kwon and J. S. Min. 2016. Surface micro-climate analysis based on urban morphological characteristics: temperature deviation estimation and evaluation. *Atmosphere* 26(3): 445-459.
128. Yousefi, M., A. Jouladeh-Roudbar and A. Kafash. 2020. Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. *Ecological Indicators* 112: p.106137.
129. Zehzad, B., B. H. Kiabi and H. Madjnoonian. 2002. The natural areas and landscape of Iran: an overview. *Zoology in the Middle East* 26(1): 7-10.
130. Zeven, A. C. and J. M. J. de Wet. 1982. Dictionary of cultivated plants and their regions of diversity. PUDOC, Wageningen.
131. Zohary, M. 1973. Geobotanical foundations of the Middle East, Vol. 1-2. Gustav Fischer Verlag Press, Stuttgart, Swets & Zeitlinger, Amsterdam.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Predicting the Effect of Climate Change on the Distribution of Wild Relatives of the Potato Family (Solanaceae) in Iran with Emphasis on Food Security

S. Sayadi[1], A. R. Mehrabian[1*] and H. Mostafavi[2]

(Received: November 17-2020; Accepted: January 18-2021)

Abstract

The Solanaceae family with 49 species of 10 genera is one of the important nutritional, economical, medicinal and ornamental families in which six genera of them are classified in the group of wild relatives. Predicting the effect of climate change on the distribution of plant species is important for their management and conservation. In this study, the effects of climate change on this family was investigated with a conservation approach, using Species Distribution Modeling (SDM). Future spatial distribution of this family was predicted by MaxEnt model under optimistic (RCP2.6) and pessimistic (RCP8.5) scenarios for the year 2050 and 2080 in R software. In general, the performance of the model for different species was good or excellent based on the area under the curve index (AUC $\geq$ 0.8), showing high statistical reliability of the distribution modeling. Predicting the distribution of all species in the face of climate change and under various future scenarios showed both decrease in the current original habitats and increase in new habitats. However, the ratio of the increase and decrease was different in various species. In *Atropa acuminate*, *Solanum surratense*, *Datura stramonium*, *Hyoscyamus niger*, *Hyoscyamus reticulatus*, *Physalis alkekengi* and *Solanum dulcamara* the ratio of decrease was more than increase, implying the negative effects of climate change on these species and may cause species extinction. However, the ratio of increase was more than decrease in *Datura innoxia*,*Physalis divaricate*,*Solanum alatum* and *Withania somnifera*, showing a positive effect and climate change may cause species expansion.

Keywords: Climate change, Wild relative, Species distribution modeling, Conservation

1. Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

*: Corresponding Author, Email: a_mehrabian@sbu.ac.ir