Archive of SID

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
ص ۱۱۲۹-۱۱۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۶
تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶

پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش بالقوهٔ مکانی (Boraginaceae Juss.) *Onosma cornuta* H. Riedl. و *Onosma sabalanica* Ponert. در واحدهای اقلیمی ایران

❖ **سیاوش نقی‌زاده؛** دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد سیستماتیک و اکولوژی گیاهی، دانشکدهٔ علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

❖ **حسین مرادی زیناب؛** دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد سیستماتیک و اکولوژی گیاهی، دانشکدهٔ علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

❖ **احمدرضا محرابیان *؛** استادیار سیستماتیک و اکولوژی گیاهی، دانشکدهٔ علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

❖ **صدف صیادی؛** دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد سیستماتیک و اکولوژی گیاهی، دانشکدهٔ علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

❖ **حسین مصطفوی؛** استادیار تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم ها، پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

پدیدهٔ تغییر اقلیم بزرگ‌ترین چالش زیست محیطی حال حاضر دنیا می‌باشد. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی حساس و با ارزش، امری مهم در راستای مدیریت و حفاظت آن‌ها محسوب می‌گردد. جنس *Onosma* L. (زنگوله‌ای) به عنوان یک جنس بسیار غنی از طایفهٔ *Lithospermeae* Dumort. در تیرهٔ گاوزبان (Boraginaceae) می‌باشد که دارای ۵۲ گونه در ایران است که بیش از نیمی از آن‌ها اندمیک ایران می‌باشد. گونه‌های *Onosma cornuta* H. Riedl. و *Onosma sabalanica* Ponert. از گونه‌های بومی و بسیار نادر این جنس در ایران می‌باشد. هدف این مطالعه، بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش مکانی این ۲ گونه در آینده است. در این راستا، با استفاده از ابزار مدل‌سازی پراکنش گونه (SDM)، هشت الگوریتم مختلف (GLM, GAM, GBM, RF, FDA, MARS, ANN, SRE) در سناریوهای مختلف خوشبینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) پراکنش مکانی آیندهٔ این گونه را برای سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل انسمبل در محیط نرم افزاری R پیش‌بینی نموده‌اند. نتایج نشان داد که عملکرد تمامی مدل‌ها بر اساس شاخص TSS، عالی و مدل‌سازی پراکنش گونهٔ مورد نظر با اطمینان آماری بالایی انجام شده است. نتایج همچنین نشان داد که پراکنش این دو گونه در هر دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانهٔ سال ۲۰۵۰ با کاهش چشمگیری روبه‌رو بوده که نیاز به به‌کارگیری استراتژی‌های لازم جهت حفاظت از این دو گیاه ارزشمند می‌باشد.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، *Onosma sabalanica*، *Onosma cornuta*، مدل‌سازی پراکنش گونه، حفاظت

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۱۲۳۴۴۷۵۴۴+
Email: a_mehrabian@sbu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

پدیدهٔ تغییر اقلیم بزرگ‌ترین چالش زیست محیطی حال حاضر دنیا است. پیش‌بینی می‌شود این پدیده ضمن تأثیر بر تمام ابعاد زندگی بشر، بر روی تمامی اکوسیستم‌های دنیا از نظر اکولوژیک، زمین‌شناختی، هواشناختی و غیره تأثیر بگذارد. در حقیقت، هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی که در طولانی مدت در یک منطقهٔ خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ دهد تحت عنوان تغییرات اقلیمی شناخته می‌شود [۶، ۷]. فعالیت‌های بشر هم‌زمان با افزایش تصاعدی شمار و مصرف انسان‌ها، توان و ظرفیت بقای حیات بر روی زمین را کاهش داده است و یا سبب نابودی و انقراض شماری از آن‌ها شده است. آلودگی، تغییر و تخریب زیستگاه‌ها، برداشت و صید بی‌رویهٔ برخی از گونه‌ها، جابجایی و معرفی گونه‌ها در ناحیه‌ای خارج از دامنهٔ پراکنش طبیعی آن‌ها و تغییرات اقلیم از مهم‌ترین عوامل تهدیدکنندهٔ حیات به شمار می‌روند [۱۰] که اکوسیستم‌ها و گونه‌های مختلف، واکنش‌های متفاوتی از خود در برابر این تغییرات نشان می‌دهند [۳۳]. با توجه به وابستگی کمی و کیفی حیات انسان به محیط طبیعی پیرامون او، شناخت وضعیت کمی و کیفی اکوسیستم‌ها و آگاهی از روند تغییرات محیطی و پاسخ اکوسیستم‌ها و گونه‌های موجود به این تغییرات محیطی در طول زمان برای مدیریت اکوسیستم‌ها و حفاظت گونه‌های مختلف و ایجاد تعادل لازم برای بقای انسان و زیستمندان اهمیت فراوانی دارد [۶، ۳۸]. به‌کارگیری مدل‌های پراکنش گونه‌ای[1] (SDM) تحت سناریوهای تغییر اقلیم از پرکاربردترین روش‌ها به‌منظور پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها اعم از گیاهی و جانوری می‌باشد [۱۵، ۴۳]. مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها در واقع بر اساس روابط تجربی بین توزیع امروزی گونه‌ها با متغیرهای اقلیمی، برای تخمین توزیع مکانی گونه‌ها تحت سناریوهای اقلیمی آینده استفاده می‌شود [۲].

جنس *Onosma* L. (Boraginaceae) به عنوان آرایه‌ای بسیار غنی از طایفهٔ *Lithospermeae* Dumort. دارای ۱۵۰ گونه در دنیا می‌باشد [۸، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۴۷] که عمدتاً در نواحی غرب و مرکز آسیا و مدیترانه، در رویشگاه‌های صخره‌ای، شنی، استپی با شرایط اقلیمی خشک و آفتاب‌گیر رشد می‌کند [۲۳، ۳۲]. بر اساس مطالعات ریدل [۳۹]، این جنس دارای ۵۹ گونه در محدودهٔ فلور ایرانیکا و ۳۹ گونه در محدودهٔ فلور ایران و بر اساس مطالعات خاتم‌ساز [۲۴] دارای ۳۷ گونه در محدودهٔ فلور ایران می‌باشد. همچنین طبق مطالعات محرابیان [۳۰] و گزارش گونه‌ها و رکوردهای جدید از ایران [۳، ۴، ۱۴، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۴۴] تعداد گونه‌های این جنس در ایران به ۵۲ گونه افزایش یافته است. این جنس دارای سه بخش (Section) *Podonosma* Boiss. Sect.، *Protonosma* M. Sect. و *Onosma* L. Sect. می‌باشد [۹، ۳۹] که بخش اخیر بر مبنای رده‌بندی بواسیه [۵] به ۳ زیربخش *Haplotricha* Boiss. Subsect. با کرک‌های ساده، *Asterotricha* Boiss. Subcect. با کرک‌های ستاره‌ای و *Heterotricha* Boiss. Subsect. با کرک‌های حدواسط تقسیم می‌شود. گونه‌های نادر این جنس غالباً تک‌جمعیتی می‌باشند و تنها در یک منطقهٔ جغرافیایی و دامنه‌های ارتفاعی محدودی پراکنش دارند که سبب آسیب‌پذیری شدید آن‌ها در برابر عوامل تهدیدکننده می‌گردد. زیربخش‌های *Haplotricha* و *Heterotricha* به ترتیب بیشترین درصد از گونه‌های نادر را به خود اختصاص داده‌اند. حدود ۵۰ درصد گونه‌های این جنس در طبقات تهدید فهرست سرخ جهانی حفاظت قرار دارند [۲۹].

جنس *Onosma* L. عمدتاً در نواحی غرب و مرکز آسیا و مدیترانه پراکنش دارد [۲۳، ۳۲]. حدود هفتاد و پنج درصد از کل گونه‌های بومزاد (اندمیک) این جنس در ایران در اکوسیستم کوهستانی زاگرس میانی و شمالی

[1] Species Distribution Models

www.SID.ir

Archive of SID

[۹] و مراکز بومزادی (اندمیسم) ایران در غرب [۲۲] پراکنش دارند. در سال‌های اخیر پدیدهٔ تغییرات اقلیمی به همراه تأثیر عوامل دیگر مانند چرای بی‌رویه، استفاده‌های دارویی و تخریب زیستگاه‌ها توسط انسان باعث ایجاد تغییرات و تنش در رویشگاه‌های طبیعی این جنس در ایران شده است [۲۹]. گونهٔ *Onosma sabalanica* Ponert. با پراکنش محدود در دامنه‌های سبلان و ارسباران، یکی از گونه‌های بسیار نادر و اندمیک این جنس در ایران می‌باشد [۲۹]. این گونه اغلب در دامنه‌های شمالی و غربی، ارتفاع ۳۵۰۰-۲۰۰۰ متر، خاک‌های قلیایی با بافت شنی رسی لومی، سازندهای آذرین و اقیم مدیترانه‌ای خشک رشد می‌کند. *Onosma cornuta* H. Riedl. یکی دیگر از گونه‌های اندمیک می‌باشد که پراکنش آن در شمال، شمال غرب و غرب ایران می‌باشد. این گونه اغلب در ارتفاعات کوهستانی و نیمه آلپی، دامنه‌های جنوبی، خاک‌های قلیایی با بافت شنی رسی لومی، سازندهای رسوبی، رسوبی- آتش‌فشانی و دگرگونی و اقلیم سرد و نیمه خشک رشد می‌کند. با توجه به شرایط این دو گونه (پراکنش نسبتاً محدود و چرای دام) به نظر می‌رسد این گونه‌ها در آینده با چالش جدی برای بقا روبرو گردند. از طرفی به دلیل پراکنش گستردهٔ جنس زنگوله‌ای، صعب‌العبور بودن برخی مناطق جغرافیایی ایران و محدودیت زمان و بودجه، ارزیابی اکولوژیکی و حفاظتی همهٔ رویشگاه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد [۲۹]. بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع، مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش مکانی بالقوهٔ گونه‌های *O. cornuta* و *O. sabalanica* در ایران صورت گرفت.

۲. روش شناسی

۱.۲. گونه و منطقهٔ مورد مطالعه

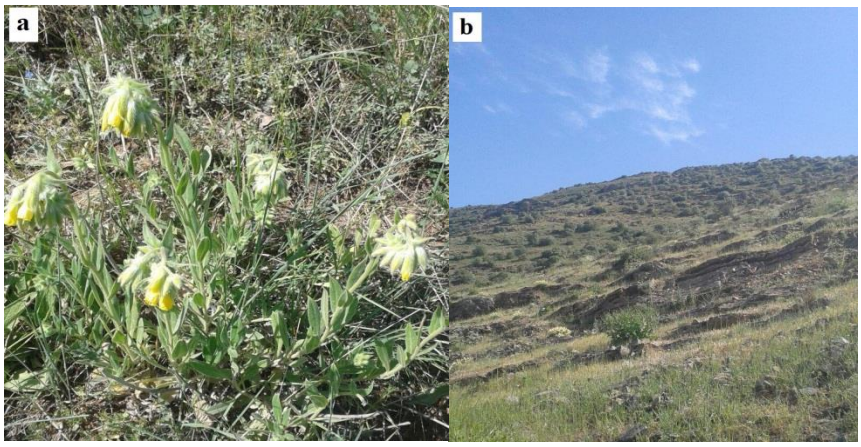
گونهٔ *Onosma sabalanica*، گیاهی چندساله، با ساقه‌های متعدد به ارتفاع ۱۵تا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد که معمولاً در فاصلهٔ خرداد تا مرداد گل می‌دهد (شکل ۱). این گونه دارای پراکنش محدودی در دامنه‌های سبلان و ارسباران است (شکل b۳).

شکل ۱. a) گونهٔ *O. sabalanica* و b)رویشگاه گونهٔ *O. sabalanica*، دامنه‌های سبلان

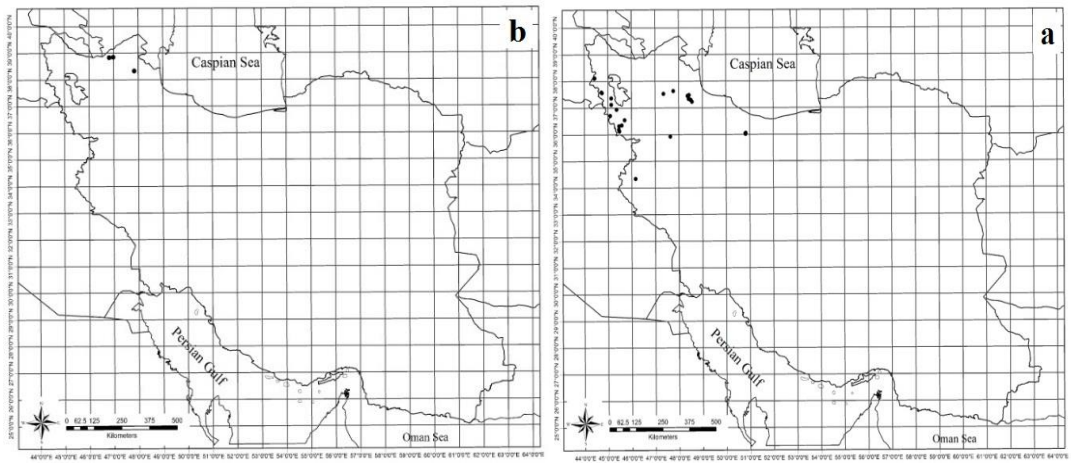
گونهٔ *Onosma cornuta*، گیاهی چندساله، با ریزوم‌های افقی، با ساقه هایی به‌طول ۱۵تا ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد که معمولاً در فاصلهٔ اردیبهشت تا تیرماه گل می‌دهد (شکل۲) و در آذربایجان و کردستان پراکنش محدودی دارد (شکل a۳).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. a) گونهٔ *O. cornuta* و b)رویشگاه گونهٔ *O. cornuta*، نقده- سلطان یعقوب



شکل ۳. نقشهٔ پراکنش گونه‌های a) *O. cornuta* b) *O. sabalanica* در ایران

۲.۲. روش تحقیق و مدل‌سازی

ابتدا با انجام مطالعات میدانی از منطقهٔ مربوط به پراکنش گونهٔ *O. sabalanica* و گونهٔ *O. cornuta* در واحد ژئومورفولوژیک شمال غرب ایران [۱] در محدودهٔ واحدهای اقلیم شناسی زیستی مدیترانه‌ای قاره‌ای چند فصلی[1] (Mpc) و مدیترانه‌ای قاره‌ای خشک[2] (Mxc) [۴۰] نمونه‌برداری متناسب با فنولوژی این گیاهان در فصول رویش انجام شد. اطلاعات مربوط به مختصات جغرافیایی نقاط وقوع گونه با استفاده از جی‌پی‌اس (GPS) ثبت گردید. سپس موقعیت‌های جغرافیایی نمونه‌های جمع‌آوری شده به همراه گزارش‌های ثبت شده در گذشته [۲۹]، به عنوان مشاهدات جهت مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که نقاط نمونه‌برداری شده از یکدیگر حداقل یک کیلومتر فاصله داشتند و مطالعات میدانی در بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد.

مدل‌های پراکنش گونه‌ای (SDM) از پرکاربردترین روش‌ها به‌منظور پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش

[1] Mediterranean pluviseasonal-continental
[2] Mediterranean xeric-continental

www.SID.ir

Archive of SID

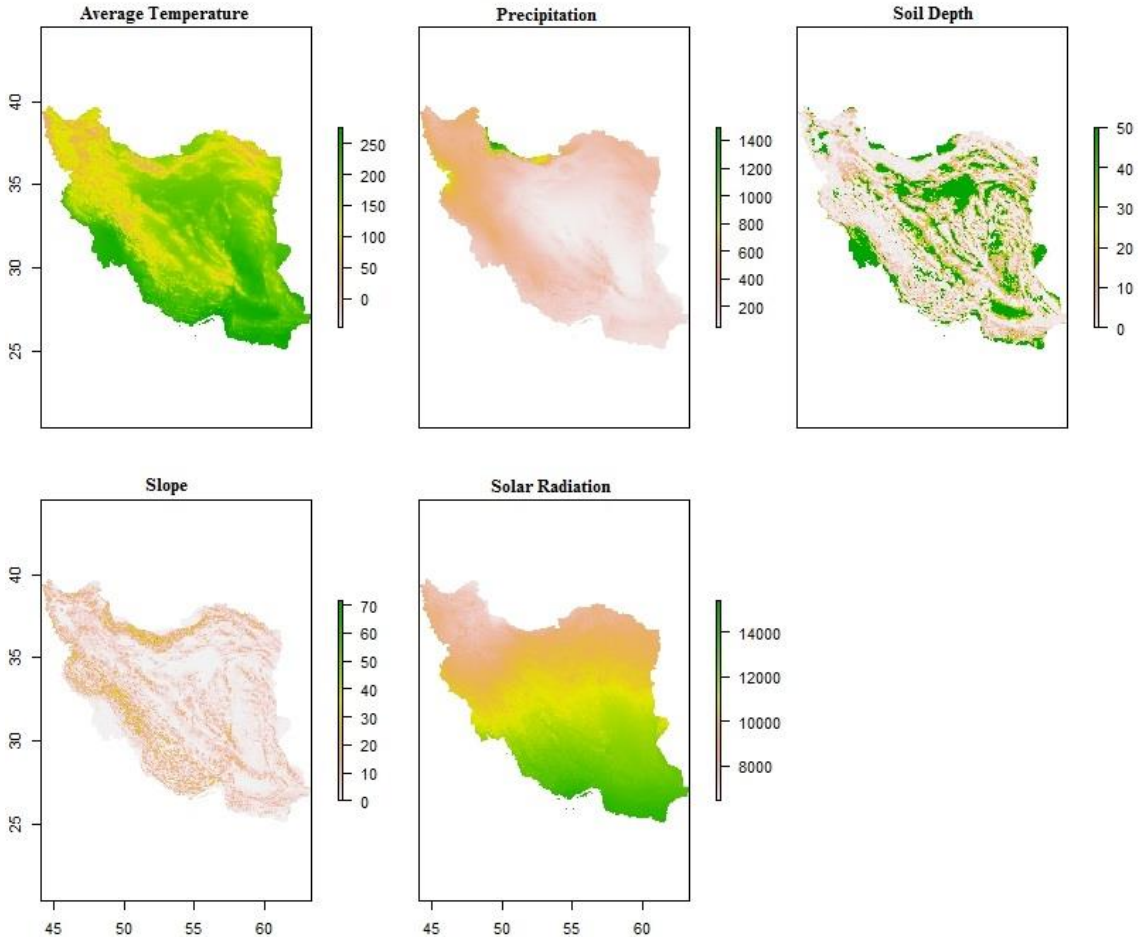
گونه‌های گیاهی و جانوری هستند [۴۲]. در این مطالعه برای انجام مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای از بسته نرم‌افزاری BIOMOD2 (مدل‌سازی تنوع زیستی) در محیط نرم افزاری و آماری R استفاده شده است. به‌علاوه نرم‌افزار BIOMOD در کاهش عدم قطعیت روش‌های مدل‌سازی و همچنین برای به حداکثر رساندن عملکرد پیش‌بینی توزیع گونه‌ها نسبت به سایر نرم‌افزارها مانند Maxent کاربرد بیشتری دارد [۴۵].

در این راستا، مدل‌سازی با به‌کارگیری "پراکنش مشاهده شدهٔ این دو گونه" (شکل۳) و "متغیرهای محیطی و اقلیمی" مانند "میانگین دما، میزان بارش، عمق خاک، تابش خورشیدی و شیب" (شکل۴) پس از آزمون آماری همبستگی پیرسون (در همبستگی بالای ۷۰، یکی از متغیرها با نظر کارشناسی انتخاب می‌شدند) توسط هشت الگوریتم مختلف (GLM, GAM, GBM, RF, CTA, FDA, MARS, ANN, SRE) انجام شد و بر اساس مدل Ensemble همهٔ الگوریتم‌ها نهایتاً تجمیع و ارزیابی شده‌اند. ارزیابی یا عملکرد مدل‌ها توسط شاخص TSS بر اساس جدول (۱) انجام شد.

همهٔ داده‌های محیطی و اقلیمی از سایت WorldClim [۱۲] در بازهٔ زمانی ۱۹۷۰ تا۲۰۰۰ تهیه و استخراج شده‌اند. متغیرهای اقلیمی آینده هم در سناریوهای خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) سال ۲۰۵۰ از سایت فوق استخراج شده‌اند.

مراحل مدل‌سازی به‌صورت زیر انجام شده است:

۱. جمع‌آوری داده‌های مرتبط با پراکنش گونهٔ مورد نظر از نمونه برداری‌ها، منابع علمی و نیز از بانک اطلاعاتی موجود



شکل ۴. متغیرهای محیطی و اقلیمی مورد استفاده در مدل‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

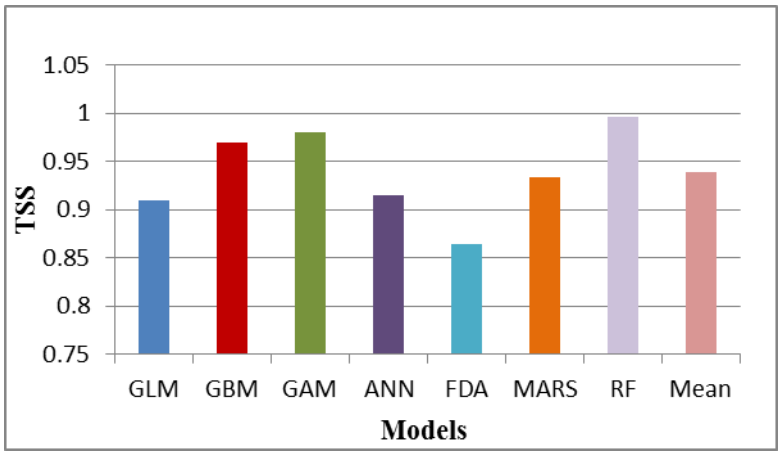
جدول ۱. طبقه‌بندی کمی و کیفی عملکرد مدل بر اساس شاخص TSS

TSS	Accuracy
۱/۰-۰/۸	Excellent (عالی)
۰/۸-۰/۶	Good (خوب)
۰/۶-۰/۴	Fair (متوسط)
۰/۴-۰/۲	Poor (ضعیف)
۰/۲-۰	Failed (خیلی ضعیف)

۲. و استخراج لایه‌های اطلاعاتی به عنوان فاکتورهای مستقل و پیش‌بینی کننده (متغیرهای محیطی و اقلیمی) از سایت WorldClim (www.worldclim.org)
۳. کالیبره کردن مدل در محیط R با پکیج BIOMOD2
۴. آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرها (در همبستگی بالای ۷۰، یکی از متغیرها با نظر کارشناسی انتخاب می‌شدند)
۵. مدل‌سازی با الگوریتم‌های مختلف
۶. ادغام و تجمیع الگوریتم‌ها به روش انسمبل در سناریوهای مختلف
۷. اعتبارسنجی و تعیین میزان دقت مدل
۸. جمع‌بندی و تحلیل نهایی

۳. نتایج

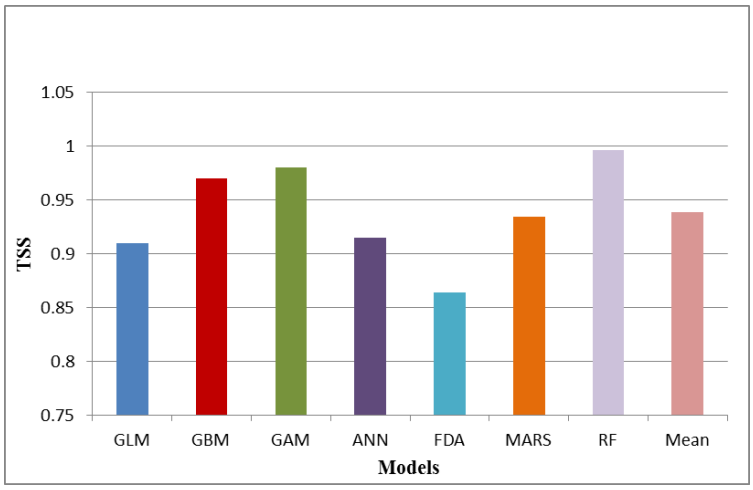
به‌صورت کلی بر اساس شاخص TSS، در گونهٔ *O. sabalanica* میانگین عملکرد همهٔ مدل‌ها عالی بوده است و از بین مدل‌ها، به‌غیراز مدل FDA که عملکرد خوب داشت، بقیهٔ مدل‌ها عملکردشان عالی بوده است (شکل ۵) همچنین در گونهٔ *O. cornuta* مدل RF (Random Forest) (شکل ۶) بهترین پیش‌بینی را داشته است. نتایج نشان داد که اهمیت نسبی متغیرها در مدل‌های مختلف تا حدودی متفاوت بوده، اما به‌صورت کلی متغیرهای میانگین درجه حرارت، تابش خورشیدی و بارش به ترتیب بیشترین تأثیر را در توزیع گونه داشتند (جدول ۲ و ۳).



شکل ۵. نمودار ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس شاخص TSS – *O. sabalanica*

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. نمودار ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس شاخص TSS – *O. cornuta*

جدول ۲. سهم نسبی هر یک از متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش جغرافیایی *O. sabalanica*

	GLM	GBM	GAM	ANN	FDA	MARS	RF	میانگین
دمای سالیانه (°C)	۰/۰۰۰	۰/۵۷۰	۰/۶۵۲	۱	۰/۹۶۲	۰/۷۰۴	۰/۶۱۷	۰/۶۴۳
بارندگی سالیانه (میلی‌متر)	۰/۷۵۴	۰/۰۳۷	۰/۴۶۲	۰/۴۲۴	۰/۰۰۵	۰/۷۵۶	۰/۰۰۵	۰/۳۴۹
عمق خاک	۰/۵۷۶	۰/۰۰۰	۰/۳۱۶	۰/۲۷۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۱۶۷
شیب	۰/۳۵۵	۰/۱۰۳	۰/۲۵۵	۰/۳۸۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۵	۰/۱۵۹
تابش خورشیدی	۰/۹۰۹	۰/۲۲۳	۰/۷۵۸	۰/۳۳۵	۰/۰۱۸	۰/۹۱۵	۰/۰۳۱	۰/۴۵۵

در حال حاضر در ایران، پراکنش بالقوهٔ گونهٔ *O. sabalanica* از نظر جغرافیای گیاهی در بخش‌هایی از حوزهٔ فرعی آتروپاتان (به‌خصوص در بخش‌های شمالی و جنوبی استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی) می‌باشد. همچنین نتایج مدل‌سازی گونهٔ *O. cornuta* نشان دهندهٔ پراکنش بالقوهٔ این گونه در حوزه‌های فرعی آتروپاتان، کردستان- زاگرس و خراسان (کپه داغ) است (شکل ۷).

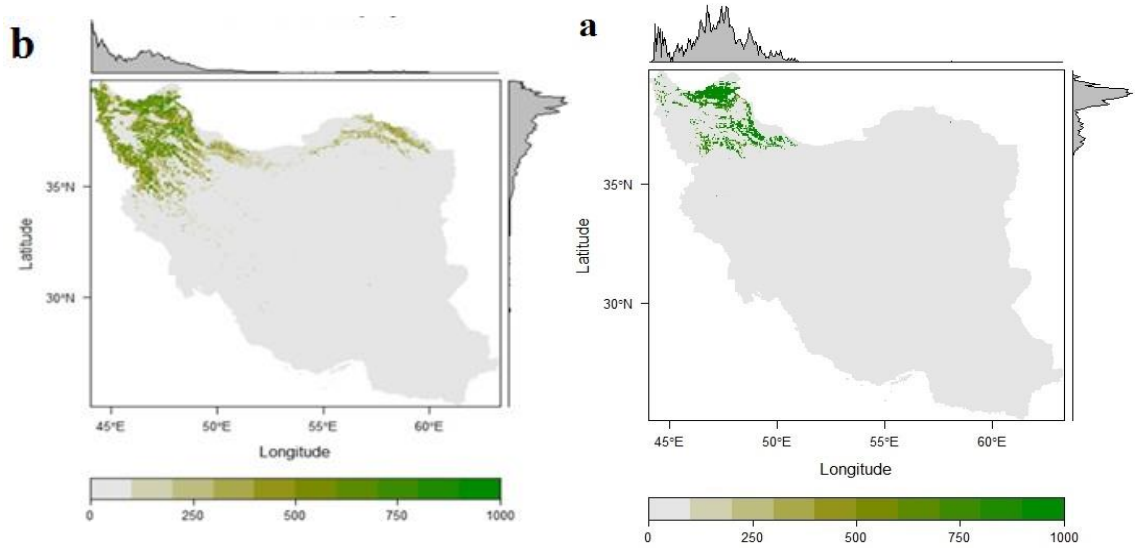
همچنین نتایج مدل‌سازی در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوی خوشبینانه اقلیمی RCP 2.6 سال ۲۰۵۰، نشان دهندهٔ تأثیر پذیری بالای این دو گونه از تغییر اقلیم است. به طوری که در مقیاس زمانی مورد مطالعه، مدل‌سازی نشان دهندهٔ کاهش در محدودهٔ پراکنش بالقوه برای این دو گونه می‌باشد و در سناریوی بدبینانه نیز تمامی مناطق مطلوب کاهش یافته و هیچ زیستگاهی برای این گیاه باقی نمی‌ماند. (شکل ۸).

جدول ۳. سهم نسبی هر یک از متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش جغرافیایی *O. cornuta*

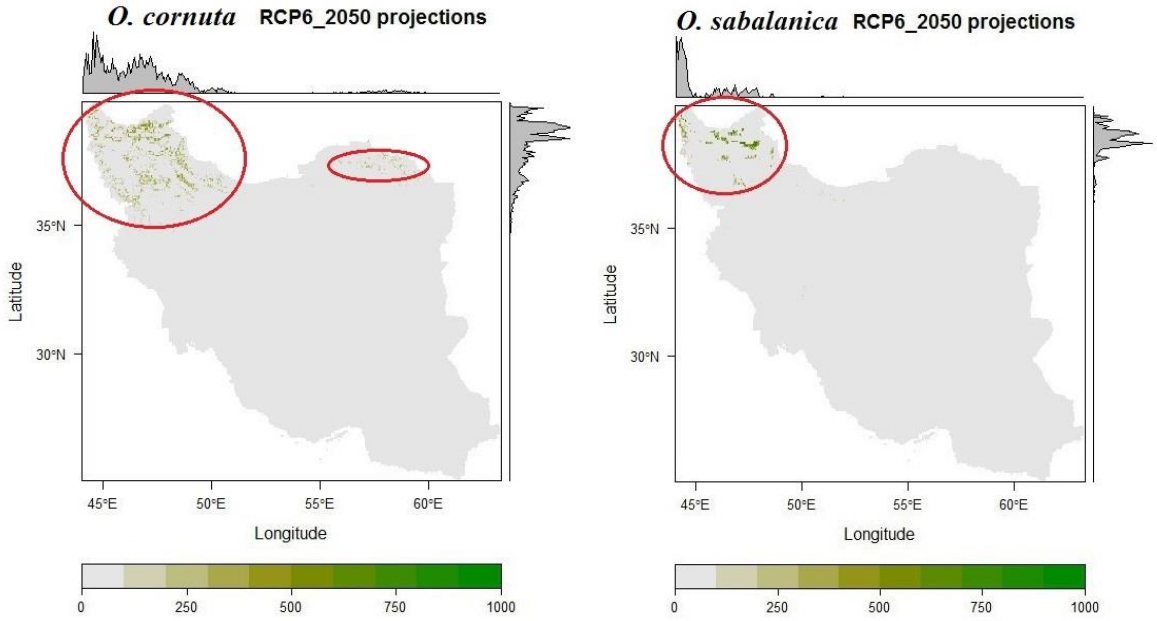
	GLM	GBM	GAM	ANN	FDA	MARS	RF	میانگین
دمای سالیانه (°C)	۰/۴۸۸	۰/۵۷۷	۰/۵۷۳	۰/۷۷۸	۰/۴۵۰	۰/۴۹۲	۰/۴۰۶	۰/۵۳۷
بارندگی سالیانه (میلی‌متر)	۰/۰۵۹	۰/۰۱۴	۰/۳۰۸	۰/۵۸۶	۰/۱۵۳	۰/۱۴۴	۰/۰۶۸	۰/۱۹۰
عمق خاک	۰/۲۳۹	۰/۰۰۸	۰/۳۱۴	۰/۱۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۸	۰/۱۰۰
شیب	۰/۱۷۰	۰/۵۱۳	۰/۵۱۰	۰/۴۱۳	۰/۰۸۵	۰/۲۹۸	۰/۳۹۶	۰/۳۴۰
تابش خورشیدی	۰/۵۲۰	۰/۵۲۸	۰/۵۲۰	۰/۴۸۲	۰/۳۸۰	۰/۵۴۶	۰/۳۲۱	۰/۴۷۱

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. پراکنش بالقوهٔ حاصل از اجماع مدل‌های بررسی شده در شرایط حال حاضر – a) *O. sabalanica* و b) *O. cornuta*



شکل ۸. اثر تغییر اقلیم بر محدودهٔ پراکنش گونه‌های مورد بررسی تحت سناریوی RCP 2.6 سال ۲۰۵۰

۴. بحث و نتیجه‌گیری

وجود تنوع زیستی حقّی برای نسل‌های آینده است و سازمان ملل دههٔ ۱۳۹۸- ۱۳۸۹ (۲۰۲۰-۲۰۱۱) را دههٔ تنوع زیستی و اجرای برنامه‌های استراتژیک برای حفاظت از آن نامیده است، به طوری که از دست رفتن تنوع زیستی، خطر مهمی برای رشد تجارت و تهدیدی بزرگ برای ثبات اقتصادی بلندمدت است.

با آغاز انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم و رشد روزافزون تحولات بشری، تغییرات گوناگونی در محیط زیست رخ داده است. رشد صنایع و کارخانه‌ها از یک

www.SID.ir

Archive of SID

طرف و جنگل‌زدایی و تخریب محیط زیست از طرف دیگر باعث افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح زمین در دهه‌های اخیر شده است [۲۱]. افزایش گاز دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در لایه‌های فوقانی جو باعث عدم خروج گرما به صورت تشعشعات مادون قرمز حرارتی از جو زمین و متعاقب آن افزایش درجه حرارت می‌گردد که به آن اثر گلخانه‌ای گفته می‌شود. افزایش گازهای گلخانه‌ای و متعاقب آن تشدید اثر گلخانه‌ای منجر به افزایش دمای اتمسفر در سطح جهانی می‌گردد که به گرمایش جهانی موسوم هست. این اثرات منحصر به افزایش دمای اتمسفر نبوده و سایر متغیرهای اقلیمی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد که به آن پدیدهٔ تغییر اقلیم گفته می‌شود [۲۱].

در سال‌های اخیر نگرانی‌ها دربارهٔ تأثیر بالقوهٔ تغییر اقلیم بر گونه‌ها و اکوسیستم‌ها در حال افزایش است [۳۷]. به‌طور کلی، اختلالات اکولوژیکی ایجاد شده توسط تغییرات اقلیمی نسبت به دیگر فاکتورها، نظیر تخریب زیستگاه، تغییرات کاربری اراضی و یا گونه‌های مهاجم تأثیر کندتری دارند و در بازهٔ زمانی طولانی‌تری خود را نشان می‌دهد. در میان فاکتورهای کوتاه یا میان‌مدت، چندپارچه‌سازی زیستگاه‌های طبیعی توسط انسان و گونه های مهاجم تهدیدهای ویژه‌ای برای تنوع‌زیستی محسوب می‌شوند. اما با نگاه به پنجاه سال آینده و بعد از آن، تأثیرات اقلیمی نسبت به دیگر فاکتورها به‌صورت غالب عمل خواهند کرد. جابجایی بلافاصلهٔ محدودهٔ جغرافیایی گونه‌ها در اثر تغییر در الگوهای طبیعی درجه حرارت و رطوبت، که به‌طور کلی محدودهٔ پراکندگی گونه‌ها را تعیین می‌کنند، صورت می‌پذیرد [۴۶] . با توجه به گزارش IPCC[1] [۳۶] انتظار می‌رود تا سال ۲۱۰۰ تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسان منجر به افزایش۱/۴ تا ۵/۸ درجهٔ سانتی‌گرادی میانگین درجهٔ حرارت کره زمین گردد [۳۷]. گزارش پنجم IPCC [۳۶] قاطعانه اعلام می‌کند که تردیدی در وجود تغییرات اقلیمی باقی نمانده است و تقریباً تمامی کشورها از جمله ایران تحت تأثیر آن قرار دارند و حتی پیش‌بینی‌شده است که تأثیرات منفی آن بر کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و تنوع زیستی (ژن، گونه و اکوسیستم) منحصر به فرد آن بیشتر خواهد بود.

نقشهٔ توزیع مکانی گونه‌ها یا مطلوبیت زیستگاه برای بسیاری از جنبه‌های مطالعات محیطی، مدیریت منابع و برنامه‌ریزی‌های حفاظت مورد نیاز می‌باشد که این شامل ارزیابی تنوع زیستی، طراحی مناطق حفاظت شده، مدیریت زیستگاه، برنامه‌ریزی حفاظت زیستگاه گونه‌ها، ارزیابی ریسک زیست‌محیطی، مدیریت گونه‌های مهاجم و پیش‌بینی اثرات تغیرات محیطی (مانند تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی) بر گونه‌ها و اکوسیستم می‌باشد [۱۳]. مدل‌های توزیع گونه‌ها رابطهٔ بین عوامل محیطی و توزیع گونه‌های گیاهی و بر همین اساس جانوری را مدل‌سازی می‌کنند.

هرچند نتایج حاصل از مدل سازی، به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در سناریوهای تغییر اقلیم [۱۸] و در تکنیک‌های مدل‌سازی [۱۱، ۱۷]، نمی‌تواند پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه دهد اما این نتایج می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد تهدیدهای تنوع زیستی، محدوده‌های توزیع گونه‌ها در آینده، غنای گونه‌ای و ترکیب گونه ها ارائه دهد و در نتیجه بر اساس این نتایج می‌توان به ایده‌هایی برای طراحی استراتژی حفاظتی، تعیین اولویت‌های حفاظتی و حتی طراحی شبکه‌های حفاظتی برای گونه‌ها و مناطق دست یافت [۱۱، ۱۹]، مدیران و سیاست گذاران نیز جهت برنامه‌ریزی‌های آینده برای مقابله با پدیدهٔ تغییر اقلیم در حفاظت از تنوع زیستی و در صورت لزوم، احیاء زیستگاه‌ها نیازمند آگاهی از چگونگی تأثیرپذیری آن‌ها در برابر روند تغییرات آینده هستند. برای این منظور، مدل‌سازی توزیع گونه‌ها (SDM) ابزار ارزشمند و کاربردی در دنیا شناخته شده و این ابزار در حقیقت جهت تعیین چگونگی تأثیر تغییرات محیطی بر توزیع مکانی گونه‌ها است. معمولاً همهٔ

[1] Intergovernmantal panle on climate change

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های مدل‌سازی توزیع گونه با برقراری ارتباط بین توزیع مشاهده شدهٔ گونه و چندین متغیر محیطی عمل می‌کنند [۱۱]. معمولاً این مدل‌ها، کمّی یا تجربی هستند که با استفاده از داده‌های مکانی موقعیت گونه‌ها و متغیرهای زیست‌محیطی که بر توزیع گونه‌ها اثر می‌گذارند، روابط گونه-محیط را مدل‌سازی می‌کنند. روابط تجربی بین توزیع امروزی گونه با متغیرهای اقلیمی، برای تخمین توزیع جغرافیایی گونه تحت سناریوهای اقلیمی آینده استفاده می‌شود. اگر شرایط جدید همچنان در دامنه‌ای باشد که گونه بتواند آن را تحمل کند، گونه قادر به ماندگاری است در غیر این صورت گونه مجبور به جابه‌جایی به مناطق مناسب جدید و در دسترس هست [۱۱، ۱۶، ۲۶].

روی هم رفته توانایی گونه‌ها نسبت به پاسخ به تغییر اقلیم تا حد زیادی به توانایی آن‌ها در دنبال کردن جابجایی‌های اقلیمی از طریق تشکیل قلمروی جدید یا اصلاح کردن رفتارهای فصلی و فیزیولوژیکی خود (مانند گل‌دهی یا جفت‌یابی) برای سازگار شدن با شرایط جدید، بستگی دارد [۴۶].

از جمله مطالعاتی که با استفاده از مدل‌سازی به بررسی پیامدهای بالقوهٔ تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها پرداخته‌اند می‌توان به مطالعهٔ [۲۰] در مناطق حفاظت شدهٔ اروپا اشاره کرد، در مطالعهٔ فوق که به مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش ۳۰ گونهٔ آوندی بومی مناطق کوهستانی پرداختند و پراکنش حال حاضر و آیندهٔ گونه‌ها را پیش‌بینی نمودند. نتایج این مطالعه، کاهش در دامنهٔ پراکنش گونه و نیز جابجایی گونه‌ها به سمت مناطق مناسب اقلیمی در شمال را پیش‌بینی نمود.

همچنین در داخل کشور [۴۱] به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی و جابجایی گونهٔ مرتعی *Bromus tomentellus* در زاگرس مرکزی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که گونهٔ مورد مطالعه، به علت تغییر اقلیم در سال ۲۰۸۰ حدود ۶۵ درصد از رویشگاه‌های مناسب خود را در محدودهٔ مطالعاتی از دست خواهد داد و نیز ۱۳/۹ درصد از رویشگاه‌هایی که در حال حاضر برای رشد این گونه نامناسب می‌باشند با تغییر اقلیم مناسب خواهند شد. آن‌ها پیش‌بینی نمودند که رویشگاه‌های این گونه تا ۵۱ درصد کوچک‌تر از حال حاضر خواهد بود.

این مطالعه به مدل‌سازی پراکنش بالقوهٔ حال حاضر و آیندهٔ گونه‌های *O. sabalanica* و *O. cornuta* با استفاده از روش مدل‌سازی اجماعی پرداخت. تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه‌ها در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه نشان‌دهندهٔ تأثیر پذیری بالای این گونه‌ها از تغییر اقلیم می‌باشد، به‌طوری که در آینده‌ای نه چندان دور با تغییراتی که در میزان بارندگی و میانگین دمای سالیانه و سایر عوامل حاکم بر منطقه صورت خواهد پذیرفت، شرایطی به‌وجود خواهد آمد که برای بقاء و رشد این گونه‌ها مناسب نبوده و باعث محدود شدن آشیان اکولوژیکی بالقوه و یا حتی انقراض آن‌ها خواهد شد. از آنجا که گونه‌های مورد مطالعه در شرایط مساعد و عادی در جمعیت‌سازی با مشکل روبه‌رو هستند و همچنین نسبت به متوسط بارندگی، درجه حرارت و نیز تابش خورشید حساس می‌باشند (با توجه به وضعیت رویشگاه‌ها)، به احتمال زیاد در شرایط تغییر اقلیم با مشکلی جدی‌تر از وضع فعلی روبه‌رو خواهند بود، به‌طوری‌که می‌توان چنین احتمال داد که جمعیت سازی و بقاء برای این گونه‌ها در شرایط ناشی از تغییر اقلیم بسیار دشوار به نظر برسد که با یافته‌های این پژوهش سازگار به‌نظر می‌رسند. بنابراین داده‌های این مطالعه می‌تواند در ارزیابی زیستگاه‌های مساعد این گونه در آینده جهت معرفی مجدد گونه‌ها به این زیستگاه‌های ثانویه و بقای آن‌ها در شرایط حفاظت داخل زیستگاهی (*In-situ* conservation) مؤثر واقع شود.

همچنین لازم به ذکر است که با مشخص شدن عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های مورد نظر و مطالعه بر روی این عوامل به‌جای مطالعه بر کلیهٔ عوامل محیطی از صرف هزینه و وقت زیاد جلوگیری شده و مطالعات مقرون به

www.SID.ir

Archive of SID

صرفه می‌گردد. مشخص شدن آشیان اکولوژیکی بالقوهٔ احتمالی این گونه‌ها از دو بعد قابل توجه می‌باشد، از یک بعد می‌توان انتظار داشت که در صورت مساعد بودن شرایط محیطی، گونه‌های مورد نظر جمعیت‌های خود را در محدودهٔ مشخص شده به‌عنوان آشیان اکولوژیکی بالقوه گسترش دهند و در آینده انتظار گزارش این گونه‌ها از محدودهٔ مشخص شده وجود داشته باشد. از بعد دیگر نیز با مشخص شدن رویشگاه‌های مناسب احتمالی گونه‌های مورد نظر در ایران، می‌توان طرح‌ها و برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی زیستی لازم جهت احیاء یا افزایش جمعیت‌های این گونه‌ها را در محدوده‌های مشخص شده پیاده کرد. این عمل سبب می‌شود مطلوب‌ترین نتیجه را در کمترین زمان و با کمترین هزینه به‌دست آورد. به عنوان مثال براساس مطالعات [۳۴] و [۳۵] دامنهٔ احتمالی گونه‌های این جنس در البرز مرکزی و زاگرس مرکزی مدل‌سازی شد و براساس آن اولویت‌های گونه‌ای تعیین شد و بذر گونه‌های با اولویت جهت جوانه‌زنی، تکثیر و معرفی به زیستگاه‌های مطلوب مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین داده‌های این مطالعه در کنار سایر شیوه‌های ارزیابی و مدیریت حفاظتی نقش مهمی در تعیین اولویت‌های حفاظتی در این جنس دارای ارزش‌های اکولوژیکی و دارویی بالا می‌باشد و به عنوان پایگاه داده‌های مدیریتی در اجرای برنامه‌های حفاظتی این گونه نقش مهمی دارد. به‌علاوه به عنوان یک مطالعهٔ پایلوت و الگو می‌تواند در مدل‌سازی اکولوژیکی سایر گونه‌های این جنس و نیز خانوادهٔ گل‌گاوزبان به‌کار گرفته شود.

در پایان هر چند مدل‌سازی ها با عدم قطعیت روبرو هستند اما با متغیرهای انتخاب شدهٔ موجود و استفاده از روش‌های آماری مانند Ensemble سعی شد تا عدم قطعیت کاهش یابد چه بسا که عملکرد مدل‌ها در مجموع عالی بوده و ابزار خوبی برای سیاست‌گذارن در راستای حفاظت و مدیریت گونه‌ها در آینده می‌باشد.

References

[1] Alai Taleghan, M. (2005). Geomorphology of Iran. Qom Publishing, Tehran, Iran.

[2] Araujo, M. B. and Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. Journal of biogeography, 33(10), 1677-1688.

[3] Attar, F. and Hamzehee, B. (2007). *Onosma bisotunensis* (*Boraginaceae*): a new apecies from Western Iran. Novon 17: 279-281.

[4] Attar, F. and Joharchi, M.H. (2006). *Onosma khorasanica*: a new species from northeast of Iran. Rostaniha 2: 111-114.

[5] Boissier, E. (1879). Flora Orientalis sive enumeratio plantarum in Oriente a Graecia et Aegypto ad Indiae fines hucusque observatarum. Vol. IV: Coroliflorae et Monochlamydeae. H. Georg, Genevae & Basileae.

[6] Buisson, L., Blance, L. and Grenouillet, G. (2008)a. Modelling stream fish species distribution in a river network: The relative effects of temperature versus physical factors. Ecology of Freshwater Fish. 17, 244-257.

[7] Buisson, L., Thuiller, W., Lek, S., Lim, P.U.Y. and Grenouillet, G. (2008)b. Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. Global Change Biology. 14, 2232-2248.

[8] Cecchi, L. and Selvi, F. (2009). Phylogenetic relationships of the monotypic genera Halacsya and Paramoltkia and the origins of serpentine adaptation in circum-mediterranean Lithospermeae (Boraginaceae): insights from ITS and matK DNA sequences. Taxon, 58(3).

[9] Davis, P.H (ed) (1978). Flora of Turkey (Vol.1-9) Edinburgh. Edinburgh University Press.

www.SID.ir

Archive of SID

[10] Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.I., Knowler, D.J., *Lévêque*, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M.L.J. and Sullivan, C.A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews. 81, 163-182.

[11] Elith, J., Leathwick, J.R. and Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77(4).

[12] Fick, S.E. and Hijmans, R. J. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology.

[13] Franklin J. (2010). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press. 320 pp.

[14] Ghahreman, A. and Attar, F. (1996)a. A new species of the genus *Onosma* from W. Iran. Iranian Journal of Botany 7(1): 51-55.

[15] Gottfried, M., Pauli, H., Reiter, K., and Grabherr, G. (2002). Potential effects of climate change on alpine and nival plants in the Alps. Mountain biodiversity, a global assessment. Parthenon, Boca Raton, 213-223.

[16] Guisan, A. and Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8(9).

[17] Guisan, A. and Zimmermann, N.E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2-3).

[18] Heikkinen R. K., Luoto, M., Araújo. M. B., Virkkala, R., Thuiller, W. and Sykes, M. T. (2006). Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. Progress in Physical Geography, 30(6): 751-777.

[19] Heino, J., Virkkala, R. and Toivonen, H. (2009). Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews*, 84(1).

[20] Hodd. R. L., Bourke, D. and Skeffington, M. S. (2014). Projected range contractions of European protected oceanic montane plant communities: focus on climate change impacts is essential for their future conservation. PloS one, 9(4-e95147): 1-13.

[21] 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.

[22] Jalili, A. and Jamzad, Z. (1999). Red data book of Iran: a preliminary survey of endemic, rare and endangered plant species in Iran. *Research Institute of Forests and Rangelands. Publication*, (1999-215).

[23] Jávorka, S. (1906). Hazai Onosma-fajink. Ann Hist Natur Mus Natl Hung, 4, 406-449.

[24] Khatamsaz, M. (2002). *Boraginaceae in*: Flora of Iran (Assadi, M., Maassoumi, A.A. & Khatamsaz, M., eds). Vol. 39, 506 pp. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran (In Persian).

[25] Kolarčik, V., Zozomová-Lihová, J. and Mártonfi, P. (2010). Systematics and evolutionary history of the Asterotricha group of the genus Onosma (Boraginaceae) in central and southern Europe inferred from AFLP and nrDNA ITS data. Plant systematics and evolution, 290(1-4), pp.21-45.

[26] Lek, S., Delacoste, M., Baran, P., Dimopoulos, I., Lauga, J. and Aulagnier, S. (1996). Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. *Ecological modelling*, 90(1).

[27] Mehrabian, A. R. & Amini Rad, M., (2018a). *Onosma mousavi* sp. nov (Boraginaceae) from Zagros Mountain(s), Iran, Feddes Repertorium 0, 1–8.

[28] Mehrabian, A. R. & Mozaffarian, V., (2018b). Seven new species of *onosma* L. (Boraginaceae) with emphasis on their habitats in Iran, Taiwania 63(4): 366–388.

[29] Mehrabian, A.R. (2015). Distribution patterns and diversity of *Onosma* in Iran: with emphasis on endemism conservation and distribution pattern in SW Asia. Rostaniha 16 (1): 36-60. (In Persian).

[30] Mehrabian, A.R. Sheidai M., Noormohamadi, Z., Mozaffarian, V. and Asri, Y. (2012). Palynological diversity in the genus *Onosma* L. (Boraginaceae) of Iran. Annals of Biological Research 3(8): 3885–389.

www.SID.ir

Archive of SID

[31] Mehrabian, A.R., Sheidai, M. and Mozaffarian, V. (2013). Three new species of *Onosma* (*Boraginaceae*) in Iran. Feddes Repertourium 124(2-3): 69-79.

[32] Meusel, H., Jager, E., Rauschert,S. and Weinert, E. (1978). Vergleichend Chrologie der zentrleuropalschhen Flora. 2 .Jena: Karten. Veb Gustav Fischer Verlag.

[33] Moss, B., Hering, D., Green, A.J., Aidoud, A., Becares, E., Beklioglu, M., Bennion, H., Boix, D., Brucet, S., Carvalho, L., Clement, B., Davidson, T., Declerck, S., Dobson, M., van Donk, E., Dudley, B., Feuchtmayr, H., Friberg, N., Grenouillet, G., Hillebrand, H., Hobaek, A., Irvine, K., Jeppesen, E., Johnson, R., Jones, I., Kernan, M., Lauridsen, T.L., Manca, M., Meerhoff, M., Olafsson, J., Ormerod, S., Papastergiadou, E., Penning, W.E., Ptacnik, R., Quintana, X., Sandin, L., Seferlis, M., Simpson, G., Triga, C., Verdonschot, P., Verschoor, A.M. and Weyhenmeyer, G.A. (2009). Climate change and the future of freshwater biodiversity in Europe: A primer for policy-makers. Freshwater Reviews. 2, 103-130.

[34] Nemati porshokooh, A., (2018). Geobotanical assessment of habitats of *Onosam* L. (Boraginaceae) in order to conservation and habitat management in central Alborz. Thesis submitted to graduate studies for the degree of master of science (MSc), Faculty of Biological Sciences and Technology, Shahid Beheshti university, Tehran, Iran.

[35] Nikjooyan, M. J., (2018). Geobotanical assessment of habitats of *Onosam* L. (Boraginaceae) in order to conservation and habitat management in central Zagros. Thesis submitted to graduate studies for the degree of master of science (MSc), Faculty of Biological Sciences and Technology, Shahid Beheshti university, Tehran, Iran.

[36] Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J., Clarke, L., Dahe, Q. and Dasupta, P. (2014). Climate change 2014. synthesis Report. Contribution of working group I, II and III to the fifth assessment report of the intergovermenthal panel on climate change, IPCC, 153 pp.

[37] Pearson, R.G. (2010). Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. Lessons in Conservation. 3, 54-89.

[38] Pearson, R.G. and Dawson, T.P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? Global ecology and biogeography, 12(5): 361-371.

[39] Riedl, H. (1968). In: Rechinger, K.H. (ed.), Flora Iranica, Vol. 48. Akademische Druck-u Verlagsanstalt, Graz, Austria.

[40] Rivas-Martínez S., Sánchez-Mata D. & CostaM., (1999). Boreal and western Temperate forest vegetation (syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America II). *Itinera Geobotanica* 12: 3-311.

[41] Sangoony, H., Vahabi, M.T. and Soltani, S. (2016). Range shift of Bromus tomentellus BOISS. as a reaction to climate change in centeral Zagros, Iran. Applied Ecology and Environmental Research, 14(4): 85-100.

[42] Sinclair, S., White, M. and Newell, G. (2010). How useful are species distribution models for managing bioldiversity under future climates? Ecology and Society, 15(1): 8 [online].

[43] Sykes, M. T., and Prentice, I. C. (1996). Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. Climatic Change, 34(2), 161-177.

[44] Teppner, H. (1980). *Onosma kurdicum* Teppner: a new species from Iran. Phyton 20(12): 141.

[45] Thuiller, W. (2007). Biodiversity: climate change and the ecologist. Nature, 448(7153): 550-552.

[46] Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. and Araújo, MB. (2009). BIOMOD-a platform for ensemble forecasting of species distributions. Ecography, 32(3): 369-373.

[47] Weigend, M., Gottsschling, M., Selvi, F. and Hilger, H. H. (2009). Marbleseeds are gromwells- Systematics and evolution of Lithospermum and allies (Boraginaceae tribe Lithospermeae) based on molecular and morphological data. Mol. Phylo.Evol. 52:755–768.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir