مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ۸۴-۷۴
Volume 4, Issue 2, Summer 2024, 74-84
http://emj.ardakan.ac.ir/article_729035.html

بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*Valeriana sisymbriifolia*) در استان اصفهان با استفاده از مدل‌های GLM و GAM

نسیم شعبانی*[۱]، مهدی خوش‌بخت[۲]، مصطفی ترکش‌اصفهانی[۳]، فرهاد آقاجانلو[۴]، علیرضا رجبی‌مظهر[۵]، مرتضی خداقلی[۶]

چکیده

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای ابزاری مؤثر برای شناسایی رویشگاه‌های بالقوه گیاهی و بررسی عوامل مؤثر بر پراکنش آن‌هاست. در این مطالعه، پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*Valeriana sisymbriifolia*) در استان اصفهان با هدف پیش‌بینی تغییرات پراکنش در دوره‌های زمانی حال حاضر، ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ تحت تأثیر تغییرات اقلیمی بررسی شد. داده‌های حضور گونه شامل ۵۰ سایت حضور به‌عنوان داده آموزشی و ۵۰ سایت حضور به‌عنوان داده ارزیابی و همچنین ۵۰ سایت عدم حضور بود که به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی شده و از نقشه پراکنش گونه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و بازدید میدانی استخراج شدند. فاصله میان نقاط با توجه به وضوح محیطی داده‌ها (۱ کیلومتر مربع) تنظیم شد تا از همبستگی مکانی جلوگیری شود. داده‌های محیطی شامل ۳ متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع) و ۱۹ متغیر اقلیمی شامل دما و بارش از پایگاه CHELSA دریافت گردید. برای مدل‌سازی از دو روش GLM و GAM استفاده و عملکرد مدل‌ها با معیارهای آماری AUC، KAPPA و TSS ارزیابی شد که مدل GLM با AUC برابر ۰/۹۷۶ بهترین دقت را داشت. نتایج نشان دادند که متغیر شیب بیشترین تأثیر را بر پراکنش گونه دارد و افزایش شیب با افزایش احتمال حضور گونه همراه است. همچنین افزایش میانگین دمای گرم‌ترین فصل و کاهش بارش در سردترین فصل به کاهش پراکنش گونه منجر می‌شود. پیش‌بینی‌ها حاکی از کاهش قابل توجه مساحت رویشگاه‌های مناسب و عالی در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ بود به‌طوری که مساحت مناطق عالی رویشگاه از حدود ۱/۵درصد در حال حاضر به کمتر از ۰/۵ درصد در سال ۲۰۸۰ کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما و کاهش بارندگی است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که گونه سنبل‌الطیب در معرض تهدید جدی ناشی از تغییرات اقلیمی قرار دارد و لزوم برنامه‌ریزی حفاظتی و مدیریت اکولوژیکی برای حفظ و بهبود رویشگاه‌های این گونه ضروری است.

واژگان کلیدی:

مطلوبیت‌رویشگاه، عوامل محیطی، مدل پراکنش گونه‌ای، تغییرات اقلیمی.

مقاله پژوهشی

۱. کارشناس پژوهش، گروه جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
n.shabani@areeo.ac.ir
* نویسنده مسئول

۲. کارشناس آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی همدان، همدان، ایران.
m.khoshbakht91@gmail.com

۳. دانشیار پژوهشی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
m_tarkesh@iut.ac.ir

۴. استادیار پژوهشی، گروه جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
faghajanloo@yahoo.com

۵. استادیار پژوهشی، گروه جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
rajabi1351@yahoo.com

۶. استاد پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
khodagholi@rifr-ac.ir

شناسه مقاله: ۲۵۰۸-۱۱۱۲
شماره صفحه پیاپی: ۸۱۷-۸۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷
زمان پذیرش: ۲۸ روز

استناددهی:
شعبانی، ن.، خوش‌بخت، م.، ترکش‌اصفهانی، م.، آقاجانلو، ف.، رجبی‌مظهر، ع.، و خداقلی، م. (۱۴۰۳). بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (Valeriana sisymbriifolia) در استان اصفهان با استفاده از مدل‌های GLM و GAM. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۴(۲)، ۸۴-۷۴.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2025.729035

۱- مقدمه

امروزه موضوع تغییر اقلیم و تأثیرات ناشی از آن مانند گرمایش جهانی، یکی از مسایل مهم و مطرح جهانی است که که تأثیرات گسترده‌ای بر تنوع زیستی، پراکنش گونه‌ها و ساختار اکوسیستم‌ها داشته است. گونه‌های گیاهی به‌عنوان عناصر کلیدی در حفظ تعادل اکولوژیکی و پایداری زیستگاه‌ها و رویشگاه‌ها، به شدت تحت تأثیر تغییرات دما، بارندگی و الگوهای اقلیمی قرار می‌گیرند (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۹). شواهد کنونی، نشان‌دهنده‌ی گرم شدن جهان، افزایش سطح دریا و شدت و فراوانی طوفان‌ها و تغییر در پراکنش و فراوانی و انقراض گونه‌ها است. این تغییرات می‌تواند خطر قابل‌توجهی برای تنوع زیستی جهان ایجاد می‌کند (Scheingross, 2007). در واقع تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از علل اصلی ظهور گونه‌های جدید، تغییر در دامنه وقوع گونه‌ها، کاهش تنوع زیستی، از دست دادن تاب‌آوری اکوسیستم‌ها شناخته شده است (شعبانی و همکاران، ۱۴۰۴). این تغییرات بر پراکنش گیاهی مؤثر است و مرزهای پراکنش جوامع گیاهی را جابه جا می‌کند (خداقلی و همکاران، ۱۴۰۱). یکی از گونه‌های بومی و ارزشمندی که اخیرا تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است گونه سنبل‌الطیب می‌باشد. گونه‌ی سنبل‌الطیب (*Valerianasisymbriifolia*) از خانواده‌ی والریاناسه[1] یا علف گربه بوده و از جمله گیاهان دارویی و با وسعت کم کشور می‌باشد. سنبل‌الطیب گونه‌ای نزدیک به تهدید است که نیاز است رویشگاه این گونه ارزیابی شود. این گیاه چندساله با ریزوم ضخیم و ساقه‌ای به ارتفاع ۷ تا ۷۸ سانتی‌متر، برگ‌های قاعده‌ای شانه‌ای فرد به طول ۴ تا ۲۹ سانتی‌متر و برگ‌های بالایی شانه‌ای فرد، کوچک با لوب‌های باریک از مشخصات این گونه است. این گیاه متعلق به مناطق خزری، ایرانی و تورانی و زاگرسی است که بر روی تشکیلات آهکی دانه ریز سفیدرنگ (سازند ایلام) مربوط به دوران مزوزوئیک بدون محدودیت شوری رشد و نمو می‌یابد و فصل گل و میوه‌دهی از اواسط بهار تا اواسط تابستان است. پراکندگی این‌گونه در استان اصفهان را می‌توان در سمیرم، مسیر پادنا به سی‌سخت، گردنه بیژن و فریدون‌شهر مشاهده کرد (موسوی آلاشو، ۱۳۷۵). در واقع این گونه یکی از گونه‌های گیاهی بومی و ارزشمند استان اصفهان است که به دلیل ویژگی‌های اکولوژیکی و دارویی خود اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر رویشگاه‌های این گونه می‌تواند اطلاعات حیاتی برای مدیریت پایدار و حفاظت از آن فراهم کند. یکی از روش‌های بررسی تغییرات اقلیمی بر پراکندگی گونه‌ها، استفاده از روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای می‌باشد. مدل‌های پراکنش گونه‌ها[2] اغلب برای درک روابط محیطی و پیش بینی توزیع گونه‌ها در فضاهای محیطی و جغرافیایی استفاده می‌شوند و یک رویکرد آماری ارزشمند برای تصمیمات مدیریتی روی گونه‌ها می‌باشند (ایرانمنش و همکاران، ۱۴۰۳). مدل‌های پراکنش گونه‌ای جزء مدل‌های تصادفی یا آماری طبقه‌بندی می‌شوند که عمدتاً با استفاده از الگوریتم‌های ریاضی، آماری و کامپیوتری برای پیش‌بینی پراکنش یک گونه خاص (گیاهی یا جانوری) در یک فضای جغرافیایی استفاده می‌شوند (Booth, 2025). این نوع مدل‌ها به دلیل اینکه ارتباط رخداد گونه با عوامل محیطی را در حال حاضر بررسی می‌کنند جزء مدل‌های ایستا می‌باشند، مگر اینکه در این نوع مدل‌ها قصد مطالعه سناریوهای مختلف که در طول زمان برای یک گونه رخ می‌دهد مورد مطالعه قرار گیرد (مانند سناریوهای تغییر اقلیم یا تغییر کاربری اراضی) که در این حالت مدل‌ها جزء مدل‌های پویا طبقه‌بندی می‌شوند (Sánchez-Mercado et al., 2010). مدل‌های پراکنش گونه‌ای به دودسته متمایزکننده گروه‌ها و مدل‌های پروفیل تقسیم می‌شوند. مدل‌های متمایزکننده گروه‌ها نیازمند داده‌های زیستی حضور و عدم حضور هستند و برمبنای همبستگی و ارتباط بین متغیرها می‌باشند و این ارتباطات را به‌صورت توابع ریاضی نشان می‌دهند و خود به دو گروه مدل‌های جهانی (پارامتریک) و مدل‌های محلی (غیر پارامتریک) طبقه‌بندی می‌شوند. از جمله مدل‌های جهانی می‌توان به مدل خطی تعمیم یافته[3] و رگرسیون خطی چندگانه[4] و از مدل‌های محلی می‌توان به مدل جمعی تعمیم یافته[5] و درخت رگرسیون و طبقه‌بندی[6] اشاره نمود. در مقابل مدل‌های پروفیل بر اساس داده‌های زیستی فقط حضور گونه عمل می‌کنند. از جمله مدل‌های این گروه می‌توان به پوشش زیست اقلیمی[7]، فاصله محیطی[8]، حداکثر آنتروپی[9] الگوریتم ژنتیک[10] و تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک[11] اشاره کرد. در واقع مدل‌های آماری پیش‌بینی مطلوبیت رویشگاه اعم از مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم‌یافته و مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته ابزارهای قدرتمندی برای تحلیل و پیش‌بینی تغییرات مکانی و زمانی پراکنش گونه‌ها در پاسخ به تغییرات محیطی هستند. این مدل‌ها با استفاده از داده‌های اقلیمی و زیست‌محیطی، امکان ارزیابی حساسیت گونه نسبت به تغییرات اقلیم و پیش‌بینی وضعیت آینده رویشگاه‌ها را فراهم می‌کنند.

مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است: کارگر و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی مقایسه مدل‌های پراکنش گونه‌ای خطی تعمیم یافته و جمعی تعمیم یافته در تعیین روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی در مراتع خط ریز برای سه گونه *Bromus tomentollus*، *Ferula ovina* و *Agropyron repens* پرداختند و اشاره داشتند که ارزیابی مدل با استفاده از ضرایب آماری سطح زیر منحنی[12] به ترتیب برای مدل‌های خطی تعمیم یافته و جمعی تعمیم یافته ۰/۶۳ و ۰/۷۰ بودند که نشان دهنده دقت مدل قابل قبول و خوب می‌باشد.

1. Valerianaceaea
2. Species Distribution Model (SDMs)
3. Generalized Linear Model (GLM)
4. Multiple Linear Regression (MLR)
5. Generalized Additive Model (GAM)
6. Classification and Regression Tree (CART)
7. Bioclimatic Envelope Model (BIOCLIM)
8. Environmental Distance Model (DOMAIN)
9. Maximum Entropy Model (MAXENT)
10. Genetic Algorithm for Rule-set Prediction (GARP)
11. Ecological Niche Factor Analysis (ENFA)
12. Area under curve (AUC)

جعفریان و کارگر (۱۳۹۶) به بررسی مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی حفاظتی و با ارزش در منطقه پلور شامل پنج گونه *Astragalus ochrodeucus*، *Ferula gumosa*، *Thymus kotschyanus*، *Onobrychis Cornata* و *Agropyron sp.* با استفاده از مدل خطی‌تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم یافته پرداختند. برای بررسی ارزیابی مدل‌ها از روش Ten-fold در بسته (caret) استفاده گردید. همچنین برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل از ضرایب آماری AUC، AIC، RMSE و R^2 استفاده شد. نتایج نشان داد که بالاترین R^2 در مدل خطی تعمیم یافته مربوط به حضور گونه *Agropyron SP* به میزان ۰/۹۸ بوده است. کم‌ترین RMSE و AIC نیز به ترتیب با میزان ۰/۲۹ و۰/۱۲ مربوط به گونه *Astragalus ochrodeucus* بود. در مدل جمعی تعمیم‌یافته نیز بالاترین R^2 به گونه *Thymus kotschyanus* به میزان ۰/۸۸ تعلق داشت. همچنین کمترین RMSE و AIC مربوط به گونه‌های *Astragalus ochrodeucus* و *Ferula gumosa* به میزان ۰/۲۲و ۱۸/۱۲ بودند. همچنین بالاترین سطح منحنی زیر پلات در مدل خطی تعمیم‌یافته به گونه *Onobrychis cornata* در مدل جمعی تعمیم‌یافته به گونه *Agropyron sp* به میزان ۰/۸۶ تعلق داشتند. قاضی‌مرادی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به بررسی مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه کما *Ferula ovina* Boiss با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته مراتع نیمه استپی غرب استان اصفهان پرداختند. ارزیابی مدل با استفاده از ضرایب آماری کاپا و سطح زیر منحنی پلات به ترتیب برابر ۰/۷۹و ۰/۸۳ به‌دست آمد. شارجیبان و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی خصوصیات اکولوژیک گونه سنبل‌الطیب کوهی پرداختند. نتایج نشان داد که این گونه در شیب شمالی کوه‌های کم کوئیه بهاباد استان یزد در ارتفاع ۱۸۵۰ متر از سطح دریا پراکنش دارد. اقلیم محل پراکنش بر اساس روش آمبرژه خشک سرد می‌باشد. شعبانی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب کوهی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی پرداختند و اشاره داشتند که پراکنش یا رویشگاه مطلوب گونه سنبل‌الطیب در استان اصفهان تحت سناریوی RCP4.5 از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ از ۳/۰۷ درصد به ۰/۰۴۷ درصد و تحت سناریوی SSP2 از ۳/۷۴ درصد به ۱/۵۵۴ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

هدف از این پژوهش، بررسی الگوی پراکنش گونه سنبل‌الطیب در استان اصفهان و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر این گونه با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم‌یافته و مدل جمعی تعمیم‌یافته است. این مطالعه با مقایسه دقت این دو مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه، به درک بهتر از روابط بین عوامل اقلیمی و رویشگاهی سنبل‌الطیب کمک کرده و می‌تواند در تدوین راهکارهای حفاظتی و مدیریت پایدار این گونه ارزشمند مؤثر باشد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان اصفهان می‌باشد (شکل۱). این استان با مساحت ۱۰۷۰۲۹ کیلومترمربع و داشتن ۶/۶ درصد از مساحت کل کشور، در بخش مرکزی ایران قرار دارد و از شمال به استان‌های مرکزی، قم و سمنان، از جنوب به استان‌های فارس و کهکیلویه‌و بویراحمد، از شرق به استان‌های یزد و خراسان جنوبی و از غرب به استان‌های لرستان و چهارمحال بختیاری محدود می‌شود. مطابق شکل (۱) این استان بین عرض جغرافیای ۳۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی واقع شده است. تغییرات شدید ارتفاع از سطح دریا بین ۷۰۰ متر در شهرستان نائین تا بیش از ۴۰۰۰ متر در شهرستان فریدون‌شهر باعث ایجاد اقلیم مختلف در استان شده است. استان اصفهان در مرکز فلات ایران قرار دارد که ارتفاع متوسط به‌دست آمده از نقشه‌های رقومی ارتفاعی بیانگر حدود ۱۶۰۵ متر می‌باشد و اغلب ارتفاعات دارای جهت شمال غربی،جنوب شرقی است. متوسط بارش سالیانه استان ۱۶۰ میلی‌متر و متوسط بارش شهر اصفهان حدود ۱۲۰ میلی‌متر است. میانگین بارش سالیانه در ارتفاعات غربی استان ۱۳۰۰ میلی‌متر و در نواحی پست شرقی و شمال شرقی ۶۰ میلی‌متر می‌باشد (Tarkesh and Jetschke, 2016).

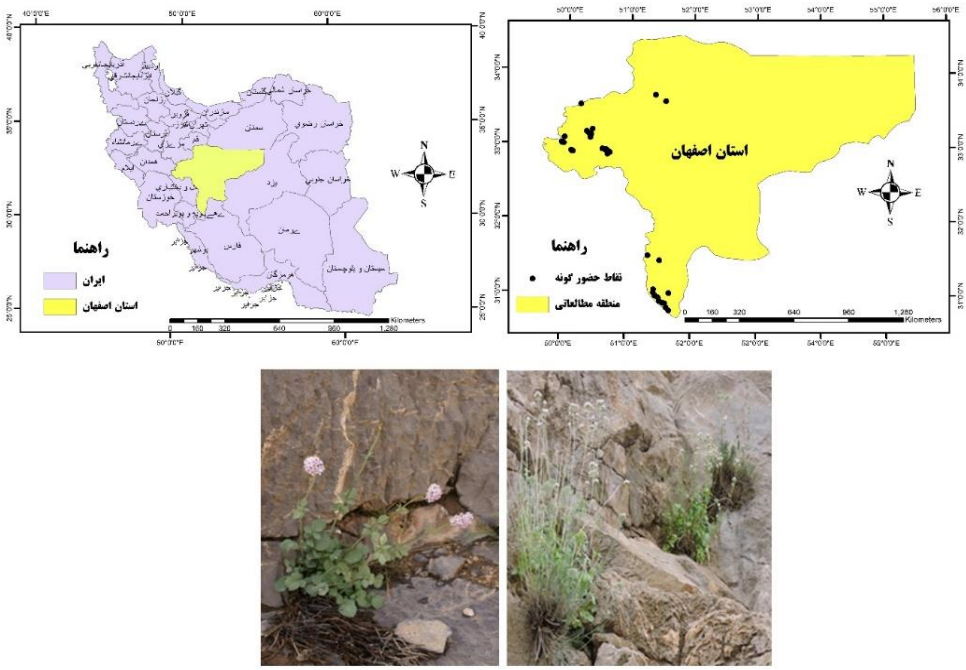
۲-۲- گردآوری داده‌ها

۲-۲-۱- داده‌های زیستی

ثبت نقاط حضور گونه با استفاده از بازدید صحرایی و اطلاعات کارشناسان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان انجام شد. تعداد ۵۰ سایت حضور گونه از مناطق مختلف استان اصفهان طی ماه‌های اردیبهشت و اوایل خرداد ۱۳۹۴ با استفاده از دستگاه GPS ثبت گردید و به‌عنوان داده‌های ارزیابی وارد مدل گردیدند. همچنین ۵۰ سایت حضور و ۵۰ سایت عدم حضور به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی شده از نقشه پراکنش گونه اخذ شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان به‌عنوان داده‌های آموزشی وارد مدل گردید. با توجه به اینکه وضوح نقشه‌های محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی معادل ۳۰ ثانیه قوسی (~۱ کیلومتر مربع) است، برای جلوگیری از اثر همبستگی مکانی[1]و نزدیک بودن بیش از حد نقاط، حداقل فاصله بین نقاط حضور پس از پالایش، یک کیلومترمربع در نظر گرفته شد تا از همپوشانی مکانی در رزولوشن مورد استفاده جلوگیری شود. به‌عبارتی، فاصله‌ی بین نقاط حضور متناسب با دقت مکانی داده‌های محیطی (۱ کیلومترمربع) تنظیم شده و از لحاظ آماری مناسب ارزیابی شده است. بازه زمانی نمونه‌برداری (اردیبهشت و خرداد) بر اساس دوره فعالیت و رویش گونه هدف و شرایط مناسب آب‌وهوایی انتخاب گردید

1. Spatial Autocorrelation

تا احتمال مشاهده و ثبت حضور گونه افزایش یابد. مختصات جغرافیایی نقاط به‌صورت طول و عرض جغرافیایی وارد محیط Excel شده و به فرمت مورد نیاز برای ورود به مدل‌ها تبدیل گردید



شکل (۱): منطقه مطالعاتی (استان اصفهان) و گونه گیاهی سنبل‌الطیب در مراتع فریدون‌شهر استان اصفهان (شهریور ۱۳۹٤)

۲-۲-۲- داده‌های محیطی

داده‌های محیطی شامل ۳ متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع) و ۱۹ متغیر اقلیمی از سایت CHELSA[1]در سه مقطع زمانی حال حاضر، بازه‌های زمانی ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ تحت مدل گردش عمومی HadGEM-RCP 4.5 دریافت شد. این داده‌ها شامل حداقل، میانگین و حداکثر دما و بارش می‌باشند. برای اعتبارسنجی مدل، داده‌های اقلیمی و نمونه‌های میدانی دوره زمانی حال حاضر (۲۰۲۴) استفاده شد و ارزیابی صحت مدل با استفاده از معیارهای آماری (AUC, KAPPA, TSS) صورت گرفت. این اعتبارسنجی نشان‌دهنده تطابق مناسب مدل با داده‌های مشاهده‌ای بوده است.

۲-۳- فرآیند مدل‌سازی

جهت مدل‌سازی پراکنش مکانی و تعیین ارتباط گونه گیاهی سنبل‌الطیب با عوامل محیطی از روش آنالیز رگرسیون جمعی تعمیم‌یافته (رگرسیون غیر پارامتریک) و خطی تعمیم‌یافته (رگرسیون پارامتریک) با کمک نرم‌افزار R و با استفاده از بسته Biomod2 نسخه ۱ که توسط Thuiller (۲۰۰۳) ارائه شده است استفاده گردید. بدین صورت که حضور و غیاب گونه مورد نظر (۱۵۰ سایت حضور و غیاب) به‌عنوان متغیر وابسته (Y) و ۲۲ متغیر محیطی (جدول ۱) به‌عنوان متغیر مستقل یا پیشگو (X) انتخاب شد. در مرحله بعد به‌منظور کاهش تعداد متغیرها همراه با افزایش دقت در پیش‌بینی مدل، از روش‌های ماتریس همبستگی، Box Plot و PCA استفاده شد. پس از برازش مدل و کالیبراسیون بهترین مدل ازفضای ریاضی به فضای جغرافیای با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی تعمیم‌یافت و نقشه احتمال رخداد گونه مورد نظر تهیه گردید.

مدل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته، تعمیم‌یافته رگرسیون چندگانه با توزیع دوجمله‌ای[2]و تابع منطقی Logit است که داده‌های چندجمله‌ای را به خوبی برازش می‌دهد (Nelder and Wedderburn, 1972) و مدل جمعی تعمیم‌یافته یک مدل رگرسیون نیمه پارامتریک است که علاوه بر شناسایی روابط خطی، قادر به کشف روابط غیرخطی بین متغیرها نیز می‌باشد. این مدل به خاطر انعطاف‌پذیری در تعیین نوع رابطه و درجه‌ی ارتباط و قابلیت تفسیر بالای آن، به یک مدل محبوب تبدیل شده است و آن را می‌توان برای طیف گسترده‌ای از داده‌ها و کاربردها استفاده کرد (Jones, 2001). به‌عبارت دیگر مدل افزایشی تعمیم‌یافته برای کشف روابط موجود، قادر به ضعیف کردن فرضیات مدل به وسیله جایگزینی هموارساز ناپارامتری است؛ یعنی این مدل با اطلاعات بیشتری از روابط بین داده‌ها، کیفیت پیش‌بینی پاسخ را به حداکثر می‌رساند و در نهایت، نتایج حاصل از مدل‌های مرسوم را پوشش می‌دهند. ارتباط بین رگرسیون منطقی و نگرش مدل جمعی تعمیم‌یافته با تشریح چارچوب مدل خطی تعمیم‌یافته آغاز شده است. مدل افزایشی تعمیم‌یافته یک جایگزین جذاب برای رگرسیون لجستیک می‌باشد (Hastie, 2017). در نهایت رویشگاه بالقوه گونه سنبل‌الطیب با استفاده از داده‌های

1. chelsa-climate.org
2. Binomial

اقلیمی حال حاضر با استفاده ازدو مدل، خطی تعمیم‌یافته و مدل جمعی تعمیم‌یافته در نرم‌افزار R تعیین گردید. پس از ارزیابی و اطمینان بودن از نتایج و کارآمد بودن، مدل، برای پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه سنبل‌الطیب در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ به‌کاربرده شد و دقت دو مدل در این پیش‌بینی سنجیده شد.

جدول (۱): متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی

ردیف	متغیرمحیطی	علامت اختصاری	واحد	ردیف	متغیر محیطی	علامت اختصاری	واحد
۱	میانگین دمای سالانه هوا	Bio1	°C	۱۲	میزان بارندگی سالانه	Bio12	mm
۲	میانگین محدوده دمای هوا در روز	Bio2	°C	۱۳	میزان بارندگی مرطوب‌ترین ماه	Bio13	mm
۳	هم‌دمایی	Bio3	-	۱۴	میزان بارش در خشک‌ترین ماه سال	Bio14	mm
۴	دمای فصلی	Bio4	°C	۱۵	بارش فصلی	Bio15	mm
۵	میانگین حداکثر دمای روزانه هوا در گرم‌ترین ماه	Bio5	°C	۱۶	میانگین میزان بارندگی ماهانه مرطوب‌ترین سه ماهه	Bio16	mm
۶	میانگین حداقل دمای روزانه هوا در سردترین ماه	Bio6	°C	۱۷	میانگین میزان بارش ماهانه در خشک‌ترین سه ماهه	Bio17	mm
۷	محدوده سالانه دمای هوا	Bio7	°C	۱۸	میانگین میزان بارندگی ماهانه گرمترین سه ماهه	Bio18	mm
۸	میانگین روزانه میانگین دمای هوا در مرطوب‌ترین سه ماهه	Bio8	°C	۱۹	میانگین میزان بارندگی ماهانه سردترین سه ماهه	Bio19	mm
۹	میانگین دمای میانگین روزانه هوا در خشک‌ترین سه ماهه	Bio9	°C	۲۰	ارتفاع	alt	m
۱۰	میانگین روزانه میانگین دمای هوا در گرمترین سه ماهه	Bio10	°C	۲۱	شیب	slope	Degree
۱۱	میانگین دمای میانگین روزانه هوا در سردترین سه ماهه	Bio11	°C	۲۲	جهت	Aspect	-

۳- نتایج

۳-۱- ارزیابی مدل‌ها

جهت ارزیابی مدل‌ها از روش‌های مختلفی همچون شاخص سطح زیر منحنی و شاخص‌های دیگر از قبیل TSS و KAPPA مطابق جدول (۲) استفاده شد. مقدار سطح زیر منحنی محاسبه‌شده با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته برابر با ۰/۹۷۶ است که طبق طبقه‌بندی Sweet جزء مدل‌های بسیار خوب است. همچنین مقدار سطح زیر منحنی محاسبه‌شده با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته نیز برابر با ۰/۹۴۷ است که طبق طبقه‌بندی Sweet جزء مدل‌های بسیار خوب است.

جدول (۲): آماره‌های استخراج‌شده از مدل‌ها

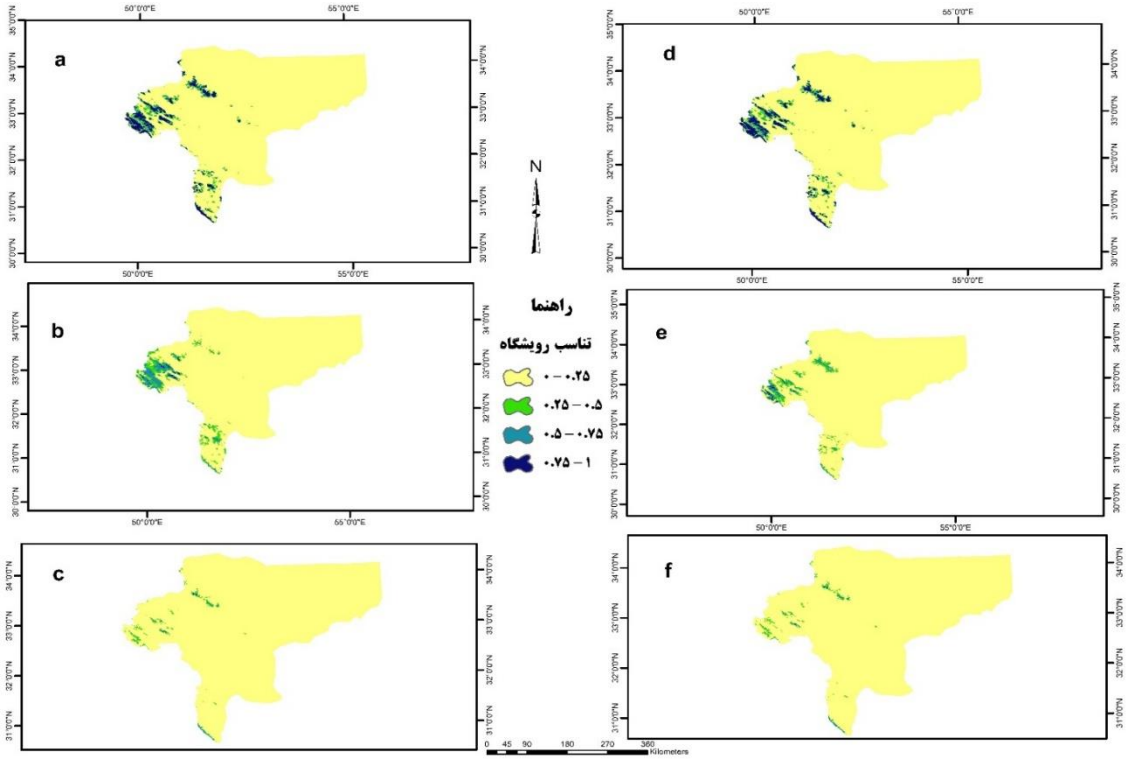
آماره مورد نظر جهت ارزیابی	مدل خطی تعمیم یافته	مدل جمعی تعمیم یافته
AUC	۰/۹۷۶	۰/۹۴۷
KAPPA	۰/۹۱۹	۰/۹۴
TSS	۰/۹۳۳	۰/۹۵

۳-۲- پراکنش رویشگاه بالقوه و آینده گونه سنبل الطیب در استان اصفهان

شکل (۲) بیان‌گر چگونگی تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه سنبل‌الطیب از دو مدل خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته تحت سناریو HadGEM-RCP 4.5 می‌باشد. طبق اشکال به‌دست آمده ازاین مدل روند کاهشی مساحت گونه سنبل‌الطیب قابل رویت است؛ به‌طوری که در مدل خطی تعمیم‌یافته مساحت آن در طبقه عالی از میزان ۳/۷۴۱ درصد در زمان حال حاضر به میزان ۱/۵۴۴ درصد در سال ۲۰۴۰ و به کمتر از ۰/۵ درصد در سال ۲۰۸۰ می‌رسد. این روند کاهشی و طی سال‌های متمادی گونه به مناطق مرتفع‌تر پیش می‌رود. همچنین با توجه به شکل (۲) می‌توان چنین استنباط کرد که وسعت گونه سنبل‌الطیب در مدل جمعی تعمیم‌یافته طی سال‌های متوالی تحت تأثیر تغییر اقلیم رو به کاهش است. طبق شکل (۲) و نتایج حاصل از جدول (۳) مقدار پراکنش گونه مورد نظر تحت مدل جمعی تعمیم‌یافته در بازه زمانی حال حاضر دارای بیش‌ترین مقدار مساحت از پراکنش گونه (۵/۳ درصد) است. به‌طوری که مقدار پراکنش گونه مذکور در سال ۲۰۴۰ برابر ۱/۷۷ درصد از استان اصفهان و در سال ۲۰۸۰ به حدود ۰/۵ درصد از مساحت استان می‌رسد. جهت درک بهتر از روند تغییر اقلیم در این مدل‌ها، نقشه‌های به دست آمده به ۴ طبقه کلاس‌بندی شدند و درصد مساحت هر یک از طبقات تعیین گردید (جدول۳).

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۳) تناسب رویشگاه گونه سنبل‌الطیب در سه دوره زمانی مختلف (حال حاضر، سال ۲۰۴۰ و سال ۲۰۸۰) با استفاده از دو مدل خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته مورد ارزیابی قرار گرفته است. در دوره فعلی، مدل خطی تعمیم‌یافته حدود ۹۲/۹۲ درصد از مساحت مطالعه را در طبقه نامناسب (طبقه یک: ۰ صفر تا ۰/۲۵) و تنها ۳/۷۴ درصد را در طبقه عالی (طبقه چهار: ۰/۷۵ تا ۱) نشان می‌دهد. مدل جمعی تعمیم‌یافته نیز نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد، به گونه‌ای که در شایط فعلی حدود ۹۲/۵۱۶ درصد مساحت را در طبقه نامناسب و ۵/۳ درصد را در طبقه عالی دسته‌بندی کرده است. این امر نشان‌دهنده پراکندگی محدود و رویشگاه‌های بسیار اندک با شرایط عالی برای گونه سنبل‌الطیب در شرایط فعلی

است. پیش‌بینی‌ها برای سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ بیانگر روند کاهش مساحت مناسب و عالی رویشگاه برای این گونه است. به‌طور مشخص، مدل خطی تعمیم‌یافته نشان می‌دهد که درصد مساحت در طبقه نامناسب تا سال ۲۰۸۰ به ۹۹/۳۳ درصد افزایش یافته و طبقه عالی به کمتر از ۰/۲ درصد کاهش می‌یابد. مدل جمعی تعمیم‌یافته نیز این روند را تأیید می‌کند، به‌طوری که مساحت طبقه نامناسب تا سال ۲۰۸۰ به حدود ۹۸/۹۶ درصد می‌رسد و مساحت طبقه عالی به ۰/۵۱۴ درصد کاهش می‌یابد. این نتایج بیانگر آن است که تحت تغییرات اقلیمی آینده، شرایط محیطی مناسب برای رشد و توسعه گونه سنبل‌الطیب به شدت کاهش خواهد یافت و بخش عمده‌ای از رویشگاه‌های فعلی به سمت طبقات نامناسب سوق پیدا خواهند کرد. بنابراین، این گونه با تهدید جدی مواجه بوده و مدیریت حفاظتی و برنامه‌ریزی اکولوژیکی برای حفظ و بهبود زیستگاه‌های آن ضروری است.



شکل (۲): تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه سنبل‌الطیب نسبت به شرایط اقلیمی تحت مدل گردش عمومی HadGEM-RCP 4.5 با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته(a: حال حاضر، b: سال ۲۰۴۰، c: سال ۲۰۸۰) و مدل خطی تعمیم‌یافته (d: حال حاضر، e: سال ۲۰۴۰، f: سال ۲۰۸۰)

جدول (۳): طبقات تناسب رویشگاه گونه سنبل‌الطیب

طبقه‌بندی رویشگاه	مدل جمعی تعمیم‌یافته				مدل خطی تعمیم‌یافته			
	تناسب رویشگاه	درصد مساحت تناسب رویشگاه حال حاضر	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال ۲۰۴۰	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال ۲۰۸۰	درصد مساحت تناسب رویشگاه حال حاضر	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال ۲۰۴۰	درصد مساحت تناسب رویشگاه سال ۲۰۸۰
طبقه یک (صفر تا ۰/۲۵)	نامناسب	۹۲/۵۱۶	۹۶/۴۹	۹۸/۹۶	۹۲/۹۲	۹۶/۵۴۵	۹۹/۳۳
طبقه دو (۰/۵– ۰/۲۵)	ضعیف	۱/۱۰۱	۰/۹۲۱	۰/۳۱۷	۱/۸۱۳	۱/۰۶۸	۰/۳
طبقه سه (۰/۷۵–۰/۵)	مناسب	۱/۰۷۲	۰/۸۱۴	۰/۲۰۵	۱/۵۲۶	۰/۸۴۱	۰/۲۰۸
طبقه چهار (۱–۰/۷۵)	عالی	۵/۳	۱/۷۷	۰/۵۱۴	۳/۷۴۱	۱/۵۴۴	۰/۱۵۵

۳-۳- منحنی‌های عکس‌العمل گونه سنبل‌الطیب نسبت به موثرترین متغیرهای محیطی

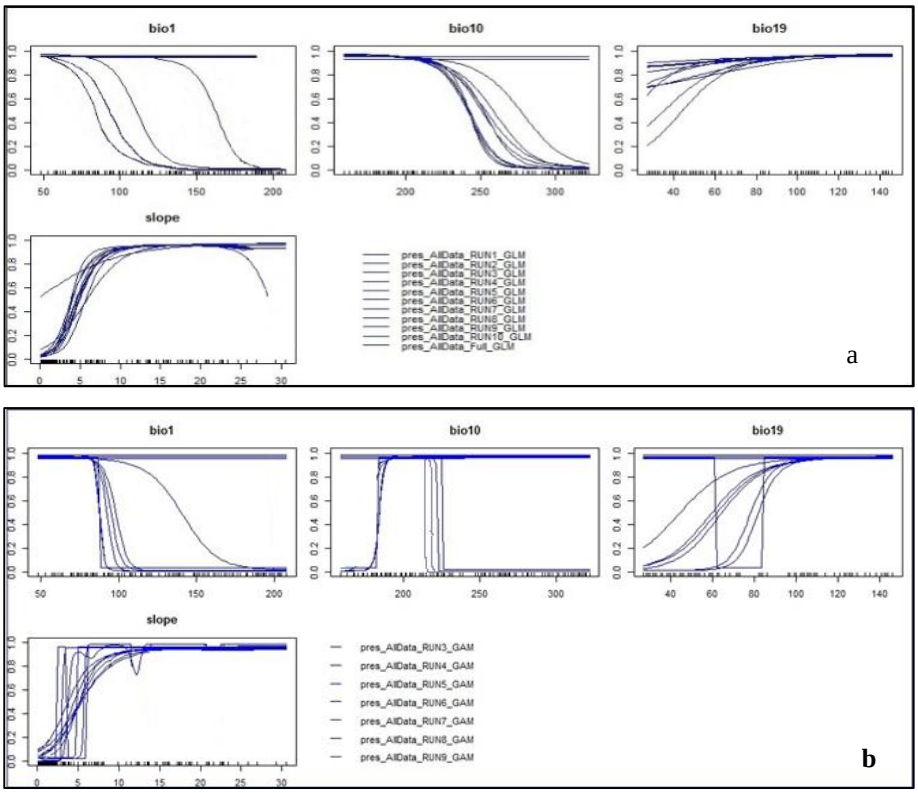
جدول (۴) بیان‌کننده متغیرهای محیطی مهم در فرآیند مدل‌سازی می‌باشد. همان‌طور که از جدول و شکل منحنی‌های پاسخ (شکل ۳) پیداست می‌توان به این موضوع پی برد که متغیر شیب دارای بیش‌ترین اهمیت در بین متغیرهای اشاره‌شده را دارد و هرچه مقدار شیب افزایش پیدا کند مقدار پراکنش گونه مذکور نیز افزایش می‌یابد.

از دیگر متغیرهای مهم اقلیمی می‌توان به میانگین درجه حرارت سالیانه اشاره کرد. در واقع اگر درجه حرارت سالیانه از ۱۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر گردد مقدار پراکنش گونه مورد نظر کاهش می‌یابد. میانگین درجه حرارت گرم‌ترین متغیر محیطی دیگری بود که به وسیله دو مدل خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته در پراکنش گونه سنبل‌الطیب مهم تشخیص داده شد. این متغیر هر چه زیادتر شود احتمال رخداد گونه کاهش می‌یابد. به‌طوری که اگر میانگین درجه حرارت در گرم‌ترین فصل سال بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد شود احتمال رخداد گونه به شدت کاهش می‌یابد و حتی ممکن است به

صفر میل کند. بارندگی در سردترین فصل سال است نیز متغیر مهمی در پراکنش گونه سنبل‌الطیب تشخیص داده شد که منحنی حاصل به‌صورت سیگموئید مثبت می‌باشد و هرچه بارش در سردترین فصل سال به بیش از ۱۰۰ میلی‌متر برسد میزان پراکنش گونه نیز افزایش می‌یابد. در نهایت شکل (۴) مقدار تناسب عالی رویشگاه توسط هر دو مدل را با مساحتی برابر ۲۸۷۸/۴۲ کیلومترمربع نشان می‌دهد. این شکل با توجه به هر دو مدل و همچنین متغیرهای مورد استفاده در حال حاضر تهیه شده است. از شکل مورد نظر می‌توان این مطلب را فهمید که تناسب عالی رویشگاه گونه مورد مطالعه در نقاط مرتفع و همچنین شیب‌های بالا قابل رویت است. این مناطق در شهرستان‌های فریدون‌شهر، بوئین و میاندشت، خوانسار، گلپایگان و سمیرم بیشتر قابل مشاهده است. به‌طوری که شهرستان‌های مورد نظر دارای مناطق مرتفع و شیب‌های بالایی است و باعث تغییر در خصوصیات اقلیمی منطقه شده‌اند. این خصوصیات شامل کاهش دما و افزایش بارش است که به نوبه‌ی خود باعث بهتر شدن شرایط رویشی گونه‌های گیاهی و جانوری می‌شود.

جدول (٤): متغیرهای مهم شناسایی‌شده در فرآیند مدل‌سازی

مدل خطی تعمیم یافته		مدل جمعی تعمیم یافته	
متغیر	درجه اهمیت متغیر	متغیر	درجه اهمیت متغیر
شیب (slope)	۰/۴۲۱	شیب (slope)	۰/۷۲۲
میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال (bio10)	۰/۳۹۵	میانگین درجه حرارت سالیانه (bio1)	۰/۶۰۹
بارندگی سردترین فصل سال (bio19)	۰/۰۴۹	بارندگی سردترین فصل سال (bio19)	۰/۱۷۲
میانگین درجه حرارت سالیانه (bio1)	۰/۲	میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال (bio10)	۰/۱۱۷

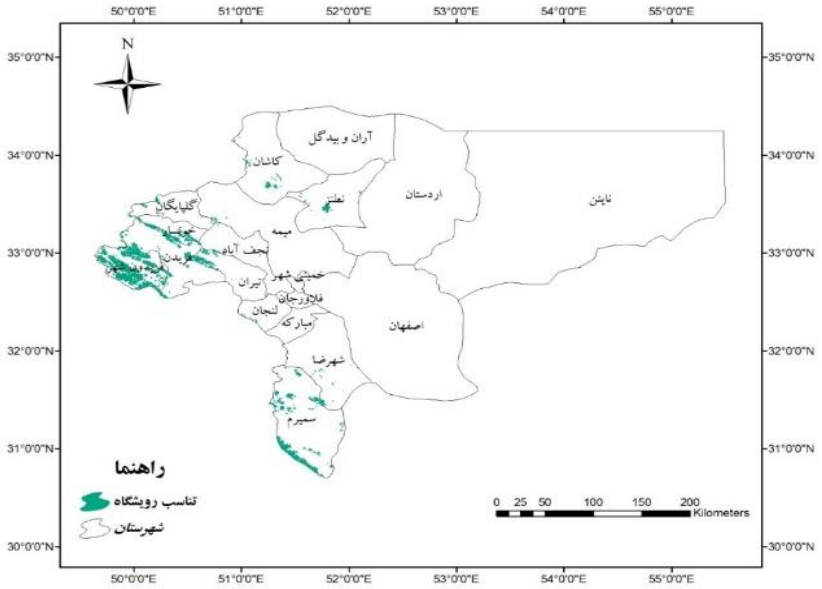


شکل (۳): مهم‌ترین منحنی‌های عکس العمل گونه‌ای در فرآیند مدل‌سازی (a: مدل خطی تعمیم‌یافته b: مدل جمعی تعمیم یافته)

٤- بحث

در تحلیل نتایج مدل‌سازی پراکنش گونه سنبل‌الطیب با استفاده از هر دو مدل خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته تحت سناریوی اقلیمی-HadGEM RCP4.5، روند کاهشی قابل‌توجهی در مساحت مناطق مطلوب رویشگاهی این گونه تا سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۸۰ مشاهده می‌شود. این کاهش تدریجی، بیانگر جابجایی رویشگاه مطلوب این گونه به سمت ارتفاعات بالاتر به‌منظور فرار از شرایط نامناسب اقلیمی آینده است که با تغییرات دما و رطوبت مرتبط است (Liang et al., 2018؛ Niu et al., 2019). این نتایج با مطالعات مشابه در حوزه تغییرات اقلیمی و پراکنش گیاهان دارویی همخوانی دارد. به‌عنوان مثال، مطالعات Liang et al. (۲۰۱۸) نیز نشان داده‌اند که گونه‌های دارویی کوهستانی تمایل به جابجایی به نواحی مرتفع‌تر در پاسخ به

گرم شدن زمین دارند. همچنین پژوهش .Niu et al (۲۰۱۹) بیانگر آن است که تغییرات اقلیمی نه تنها موجب کاهش رویشگاه مطلوب می‌شود، بلکه احتمال تداخل با گونه‌های رقیب و افزایش فشارهای اکولوژیکی نیز وجود دارد.



شکل (٤): نقشه ترکیبی با تناسب عالی پیش‌بینی‌شده توسط دو مدل خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته

مدل‌های خطی تعمیم‌یافته و جمعی تعمیم‌یافته تأیید می‌کنند که افزایش دما و کاهش بارندگی، به‌ویژه در برخی فصول بحرانی رشد، نقش مهمی در کاهش سطح رویشگاه‌های مناسب برای گونه سنبل‌الطیب دارند. این نتایج بیانگر حساسیت بالای این گونه به تغییرات اقلیمی بوده و نشان می‌دهد که حتی نوسانات فصلی در پارامترهای اقلیمی می‌تواند تأثیر مستقیمی بر پراکنش و بقاء آن داشته باشد. تحلیل داده‌های حاصل از مدل‌سازی پراکنش گونه سنبل‌الطیب نشان می‌دهد که از میان متغیرهای محیطی، شیب زمین به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر پراکنش این گونه شناخته شده است. افزایش پراکنش هم‌زمان با افزایش شیب، نشان‌دهنده‌ی سازگاری بالای سنبل‌الطیب با مناطق کوهستانی و مرتفع است. این ویژگی، احتمال بقاء این گونه در ارتفاعات را در شرایط تغییر اقلیم افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، میانگین دمای سالیانه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده پراکنش مطرح شده است. نتایج حاکی از آن است که در صورتی که دمای سالیانه از ۱۰ درجه سانتی‌گراد فراتر رود، پراکنش گونه به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. همچنین، دمای گرم‌ترین فصل نیز نقش کلیدی دارد، به‌طوری‌که در صورت افزایش این دما به بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد، احتمال حضور گونه به‌شدت کاهش یافته و در بسیاری از مناطق به صفر می‌رسد. این امر به‌خوبی نشان می‌دهد که سنبل‌الطیب به‌ویژه به گرمای شدید حساس است. در مقابل، بارندگی در سردترین فصل سال تأثیر مثبتی بر پراکنش این گونه دارد. افزایش بارندگی در این فصل به بیش از ۱۰۰ میلی‌متر منجر به بهبود شرایط رویشی و گسترش پراکنش می‌شود. این یافته‌ها با توجه به نیازهای فیزیولوژیک گیاه برای خواب زمستانی و ذخیره انرژی، از منظر اکولوژیکی قابل توجیه هستند. این الگوها با نتایج مطالعه انجام‌شده بر روی *Valeriana wallichii* هم‌راستا هستند، که در آن تحت سناریوهای اقلیمی RCP 8.5 کاهش شدید (تا ۹۴درصد) در رویشگاه‌های مناسب تا سال ۲۰۷۰ پیش‌بینی شده و متغیرهایی چون bio1 (میانگین دمای سالانه)، bio12 (میانگین بارندگی سالانه) و bio17 (میانگین میزان بارش ماهانه در خشک‌ترین سه ماهه) به‌عنوان عوامل کلیدی شناسایی شده‌اند.

براساس نقشه‌های مدل‌سازی‌شده در شرایط اقلیمی فعلی، بهترین رویشگاه‌های سنبل‌الطیب در ارتفاعات استان اصفهان از جمله در شهرستان‌های فریدون‌شهر، بوئین و میاندشت، خوانسار، گلپایگان و سمیرم واقع شده‌اند؛ این مناطق، با برخورداری از ارتفاع زیاد، شیب‌های تند، دمای نسبتاً پایین و بارندگی مطلوب، شرایط ایده‌آلی را برای زیست این گونه فراهم کرده‌اند. مساحت این رویشگاه‌های با تناسب عالی حدود ۲۸۷۸/۴۲ کیلومترمربع برآورد شده است. نتایج این مطالعه در کنار مطالعات پیشین (Niu et al., 2019) تأکید دارند که تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش دما و تغییر الگوهای بارندگی، عامل اصلی در کاهش پراکنش گونه‌های حساس مانند سنبل‌الطیب خواهد بود. همچنین، روند مهاجرت این گونه به مناطق مرتفع‌تر با شیب‌های بیش‌تر قابل پیش‌بینی است، چراکه چنین مناطقی هنوز قادرند شرایط زیستی مطلوب‌تری را فراهم کنند. در مجموع، با توجه به اهمیت دارویی، اکولوژیکی و اقتصادی سنبل‌الطیب، حفاظت از رویشگاه‌های طبیعی آن ضروری است. اقدامات مدیریتی نظیر ایجاد مناطق حفاظت‌شده، جلوگیری از تخریب رویشگاه‌ها، پایش‌های مستمر و برنامه‌ریزی برای حفظ رویشگاه‌های مرتفع، می‌تواند نقش مهمی در بقای بلندمدت این گونه در مواجهه با تغییرات اقلیمی ایفا کند. علاوه بر این نقشه‌های حاصل از مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای نیز علاوه بر تعیین عوامل موثر در پراکنش گونه گیاهی،

دامنه پراکنش جغرافیای آن گونه را نیز نمایش می‌دهند و می‌توانند فرضیات جدید اکولوژیکی را جهت تحقیقات آینده فراهم کنند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، قابلیت بالایی در تهیه نقشه پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی در منطقه مورد مطالعه دارد. مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه مورد بررسی در این تحقیق بر اساس ویژگی‌های اکولوژیک می‌تواند گامی مثبت در حفاظت و احیاء این گونه باشد که از نظر دارویی، صنعتی دارای ارزش زیادی است. با تکیه به نتایج مدل‌های به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان رویشگاه‌های دارای پتانسیل کشت گونه مورد بررسی را شناسایی و برنامه حفاظت و انتقال این‌گونه به این مناطق را با هدف ازدیاد در محیط طبیعی سبب‌ساز شد. گونه سنبل‌الطیب نیز از نظر ارزش دارویی، غذایی و همچنین حفاظتی دارای اهمیت ویژه‌ای است و به همین دلیل اقدام به تهیه نقشه گونه مورد نظر شده است تا بتوان مناطق مستعد جهت احیا را توسعه داد.جهت دستیابی به توسعهٔ پایدار و همچنین حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی وتنوع زیستی آن‌ها لازم است نقش عوامل اکولوژیکی وتأثیر آن‌ها برتنوع گونه‌های گیاهی مورد ارزیابی قرارگیرد که مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی می‌توانند آشیان اکولوژیک یا رویشگاه بالقوه گونه را نشان دهند ولی به دلیل عدم استفاده از سایر فاکتورهای موثر در پراکنش گونه‌ای در مدل همچون عوامل بیولوژیکی (رقابت، همزیستی)، عوامل انسانی (جاده‌سازی) و مدیریتی (چرای دام، آتش‌سوزی) امکان تعیین رویشگاه بالفعل گونه میسر نیست. همچنین می‌توان موارد زیر را به عنوان نتایج تحقیق برشمرد:

۱- به‌طورکلی حضور هر گونه گیاهی تحت تأثیر عوامل محیطی و روابط بین گونه‌ای است که می‌توان یک یا چند عامل محیطی که بیشترین تأثیر را در استقرار گونه مورد نظر دارد را با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای تعیین نمود و رفتار گونه را در ارتباط با متغیرهای محیطی بررسی کرد.

۲- با توجه به نقشه‌های تولیدشده توسط هر دو مدل و مشورت با کارشناسان مرکز تحقیقات اصفهان، به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که رویشگاه‌های مناسب گونه سنبل‌الطیب در قسمت غرب و جنوب غرب و جنوب اصفهان در بخش‌های مرتفع است.

۳- رویشگاه مناسب گونه سنبل‌الطیب در استان اصفهان با توجه به منحنی‌های عکس‌العمل گونه‌ای در مناطقی با بارندگی سالانه بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع بیش از ۲۷۰۰ متر، شیب‌های بیش از ۱۵ درجه و همچنین میانگین دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به این شرایط می‌توان گفت که با گذر از این حدود سبب حذف تدریجی گونه مذکور خواهد شد.

۴- در این مطالعه هر دو مدل جهت پیش‌بینی رویشگاه مناسب با توجه به شاخص AUC عملکرد خوبی داشته‌اند ولی مدل خطی تعمیم یافته از مدل دیگر مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد.

منابع

امیدوار، ک.، و خسروی، ی. (۱۳۸۹). بررسی تغییر برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، (۲)۲۱، ۴۶-۳۳.

ایرانمنش، م.، اسماعیل‌پور، ی.، غلامی، ح.، و مرادی نوازله، ن. (۱۴۰۳). استفاده از مدل‌سازی اجماعی جهت پیش‌بینی توزیع گونه‌ای آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) در بخش‌هایی از جنوب ایران. مرتع، (۳)۱۸، ۴۶۶-۴۵۱.

جعفریان، ز.، و کارگر، م. (۱۳۹۶). مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی حفاظتی و با ارزش در منطقه‌ی توریستی پلور با استفاده از مدل خطّی تعمیم یافته (GLM) و مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM). جغرافیا و توسعه، (۴۶)۱۵، ۱۳۲-۱۱۷.

خداقلی، م.، معتمدی، ج.، و صبوحی، ر. (۱۴۰۱). اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Bromus tomentellus*. طبیعت ایران، (۶)۷، ۲۵-۱۷.

شارجبیان، ف.، مصلح آرانی، ع. ا.، حسینی، ز.، باقری، ر.، و زندی، ه. (۱۳۹۶). خصوصیات اکولوژیک گونه دارویی سنبل‌الطیب کوهی (*Valeriana sisymbriifolia*) در استان یزد (مطالعه موردی: منطقه بهاباد). اکوفیزیولوژی گیاهی، (۳۰)۹، ۱۹۱-۱۸۱.

شعبانی، ن.، ترکش‌اصفهانی، م.، رجبی‌مظهر، ع.، صلاحی‌مقدم، ن.، اکبرزاده، پ.، شادمان، ح.، و خوشبخت، م. (۱۴۰۴). بررسی تغییرات پراکنش گونه گون‌گزی *Astragalus adscendens* Boiss & Hausskn در استان اصفهان تحت اثر تغییر اقلیم. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۲)۳۲، ۲۰۰-۱۸۵.

شعبانی، ن.، خوشبخت، م.، و حسنی، آ. (۱۴۰۲). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه سنبل‌الطیب (*Valeriana sisymbriifolia*) با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در استان اصفهان. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، (۲)۳، ۹۸-۸۰.

قاضی‌مرادی، م.، ترکش، م.، و بشری، ح. (۱۳۹۸). مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه کما (*Ferula ovina* Boiss) با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) مراتع نیمه‌استپی غرب استان اصفهان. بوم‌شناسی کاربردی، (۱)۸، ۷۰-۵۹.

کارگر، م.، جعفریان، ز.، تمرتاش، ر.، و علوی، س. ج. (۱۳۹۷). مقایسه مدل‌های پراکنش گونه‌ای (SDM) پارامتریک و غیر پارامتریک در تعیین رویشگاه گونه‌های غالب مرتعی (مطالعه موردی: مراتع خط ریز). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۳)۳۵، ۵۲۳-۵۱۲.

موسوی آلاشو، ا. (۱۳۷۵). فلور ایران، خانواده سنبل‌الطیب. تهران. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۷۸ ص.

Booth, T. H. (2025). The Origins of Modern Species Distribution Modelling: Some Comments on the Vasconcelos et al. (2024) Review. Earth, 6(1), 12.

Hastie, T. J. (2017). Generalized additive models. Statistical models in S, 249-307

Jones, D. R. (2001). A taxonomy of global optimization methods based on response surfaces. Journal of global optimization, 21(4), 345-383.

Liang, Q., Xu, X., Mao, K., Wang, M., Wang, K., Xi, Z., and Liu, J. (2018). Shifts in plant distributions in response to climate warming in a biodiversity hotspot, the Hengduan Mountains. Journal of Biogeography, 45(6), 1334-1344.

Nelder, J. A., and Wedderburn, R. W. (1972). Generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society, 135(3), 370-384.

Niu, Y., Yang, S., Zhou, J., Chu, B., Ma, S., Zhu, H., and Hua, L. (2019). Vegetation distribution along mountain environmental gradient predicts shifts in plant community response to climate change in alpine meadow on the Tibetan Plateau. Science of the Total Environment, 650, 505-514.

Sánchez-Mercado, A. Y., Ferrer-Paris, J. R., and Franklin, J. (2010). Mapping species distributions: Spatial inference and prediction. Oryx, 44(4), 615.

Scheingross, J. (2007). Predicting species distribution of Sierra Nevada butterflies in response to climate change. Sierra Nevada Butterfly Distribution Models.

Tarkesh, M., and Jetschke, G. (2016). Investigation of current and future potential distribution of Astragalus gossypinus in Central Iran using species distribution modelling. Arabian Journal of Geosciences, 9(1), 80.

Thuiller, W. (2003). BIOMOD–optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. Global Change Biology, 9(10), 1353-1362.

Management of Natural Ecosystems
Volume 4, Issue 2, Summer 2024, 74-84
http://emj.ardakan.ac.ir/article_729035.html

Investigating the impact of climate change on the distribution of the species Valeriana sisymbriifolia in Isfahan Province using GLM and GAM models

Nassim Shaabani[1*], Mehdi Khoshbakht[2], Mostafa Tarkesh Esfahani[3], Farhad Aghajanloo[4], Alireza Rajabimazhar[5], Morteza Khodagholi[6]

CC BY

Research Article

1. Research Expert, Forests and Rangelands Research Department, Zanjan Agricultural and Natural ResourcesResearch Center, AREEO, Zanjan, Iran.
n.shabani@areeo.ac.ir
*Corresponding author

2. Watershed Management Expert, General Directorate of Natural Resources Hamadan Province, Hamedan, Iran.
m.khoshbakht91@gmail.com

3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
m_tarkesh@iut.ac.ir

4. Assistant Professor, Department of Forest and Rangeland, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Zanjan, Zanjan, Iran.
faghajanloo@yahoo.com

5. Assistant Professor, Department of Forest and Rangeland, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Hamedan, Hamedan, Iran.
rajabi1351@yahoo.com

6. Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
khodagholi@rifr-ac.ir

Article Code: 2508-1112
Countinus Pagination: 817-827

Received: 04 August 2025
Accepted: 31 August 2025
Online: 08 September 2025
Review speed: 28 days

Citation:
shabani, N., khoshbakht, M., Tarkesh Esfahani, M., aghajanloo, F., rajabimazhar, A., and khodagholi, M (2024). Investigating the impact of climate change on the distribution of the species Valeriana sisymbriifolia in Isfahan Province using GLM and GAM models. Management of Natural Ecosystems, 4(2), 74-84.

Abstract

Species distribution modeling is an effective approach for identifying potential plant habitats and investigating the factors influencing their distribution. In this study, the distribution of *Valeriana sisymbriifolia* species in Isfahan province was assessedwith the aim of predicting distribution changes for the present, 2040, and 2080 periodsunder the influence of climate change. The species occurrence data included 50 training sites, 50 evaluation sites, and 50 absence sites, which were randomly classified and derivedfrom t the species distribution map of the Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Centerand field surveys. The distance between points was adjusted according to the environmental resolution of the data (1 km^2) to avoid spatial correlation. Environmental variables consisted of3 physiographic variables (slope, aspect, elevation) and 19 climatic variables, including temperature and precipitationwere obtained from the CHELSA database. Species distribution modeling was performed using GLM and GAM approaches, and model performance was evaluated based on the statistical metrics AUC, Kappa, and TSS. Among them, the GLM model achieved the highest accuracy with an AUC of 0.976. The results indicated that the slope variable exerted the strongest influencethe species' distributionand that increasing slope being positively associated with a higher probability of species occurrence. Also, an increase in the mean temperatureof the warmest season coupled with decrease in precipitation during the coldest seasonwas found to reduce the species' distributionof the species. The predictions indicated a significant decrease in the area of suitable and excellent habitats in the years 2040 and 2080, so that the area of excellent habitat areas will decrease from approximately 1.5% at presentto less than 0.5% in 2080. This decrease is attributable to climate change, particularly rising temperatures and reduced precipitation. The results of this study indicate that the Valerian species is facing serious threat from climate change and the need for conservation planning and ecological management to maintain and improve the habitats of this species is essential.

Key Words:

Habitat suitability, Environmental factors, Species distribution modeling (SDM), Climate change.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.729035