



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"

دوره نهم، شماره نوزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

علمی - پژوهشی

پیش‌بینی پراکنش رویشگاه بالقوه گونه *Artemisia sieberi* Besser با استفاده از روش‌های

داده‌محور در مراتع پشتکوه استان یزد

حسین پیری صحراگرد^{۱*}، محمدعلی زارع چاهوکی^۲

^۱استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل

^۲استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۷

چکیده

پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی پراکنش رویشگاه بالقوه و شناخت نیازهای بوم‌شناختی گونه *A. sieberi* با استفاده از مدل‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و جمعی تعمیم یافته، در مراتع پشتکوه استان یزد در مرکز ایران انجام شد. برای این منظور، رویشگاه‌های خالص این گونه مشخص و اطلاعات مربوط به حضور گونه گیاهی با استفاده از روش تصادفی - سیستماتیک جمع‌آوری شد. لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی (متغیرهای خاکی و فیزیوگرافیک) با استفاده از زمین‌آمار و نقشه رقومی ارتفاع با اندازه پیکسل 30×30 متر تهیه شد. مدل‌سازی پراکنش گونه با استفاده از مدل‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و جمعی تعمیم یافته در محیط نرم‌افزار R.3.3.1 انجام شد. عملکرد پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از آماره سطح زیر منحنی ارزیابی شد. علاوه بر این، حد آستانه بهینه حضور گونه نیز بر اساس آماره واقعی مهارت تعیین شد. صحت طبقه‌بندی نقشه حضور و عدم حضور با استفاده از شاخص کاپا بررسی شد. بر اساس نتایج، مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در مقایسه با جمعی تعمیم یافته عملکرد پیش‌بینی بهتری از خود نشان داد (مقدار سطح زیر منحنی به ترتیب $0/97$ و $0/89$). همچنین بر اساس مقادیر ضریب کاپای حاصل، مقدار ضریب کاپا مربوط به مدل درخت طبقه - بندی و رگرسیون بیشتر از مدل جمعی تعمیم یافته بود (به ترتیب $0/9$ و $0/88$). این مطالعه نشان می‌دهد که مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در مقایسه با مدل جمعی تعمیم یافته در برآورد دامنه پراکنش رویشگاه گونه *A. sieberi* از دقت بالاتری برخوردار است. تحلیل اهمیت متغیرها نیز نشان داد که متغیرهای هدایت الکتریکی و اسیدیته عمق اول خاک، دارای بیشترین تأثیر در پراکنش گونه *A. sieberi* هستند. به‌طور کلی

*نویسنده مسئول: hopyry@uoz.ac.ir

می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش‌های داده‌محور مثل روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، می‌تواند در برآورد دقیق پراکنش رویشگاه بالقوه گونه‌های گیاهی در مقیاس محلی مفید باشد. بنابراین، کاربرد این روش‌ها جهت معرفی گونه‌های مناسب در طرح‌های احیاء پوشش گیاهی در مراتع مناطق بیابانی ایران پیشنهاد می‌شود. *واژه‌های کلیدی:* پراکنش مکانی، نیازهای رویشگاهی، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، مدل جمعی تعمیم‌یافته، مراتع مناطق بیابانی

مقدمه

درک صحیح از روابط بین پراکنش جغرافیایی گونه‌ها و شرایط محیطی آنها یک مفهوم کلیدی در بوم‌شناسی و حفاظت است (Kaky et al., 2020). بر همین اساس، شناخت عوامل محیطی و تأثیر آنها بر پراکنش پوشش گیاهی پیش‌شرط مدیریت صحیح مراتع است (Zare Chahouki and Piri, 2016). مدل‌های پراکنش گونه‌ها قادر هستند با اندازه‌گیری اهمیت عوامل تأثیرگذار و کمی‌کردن ارتباط بین عوامل محیطی و پراکنش گونه‌ها، پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی و جانوری را در مناطق فاقد نمونه‌برداری پیش‌بینی کنند (Elith and Leathwick, 2009; Franklin, 2010). با توجه به این نکات، این مدل‌ها ابزارهایی مهم در اکولوژی و مدیریت اکوسیستم‌ها بوده و قادرند با بررسی تغییرات محیطی، اثرات بوم‌شناختی این تغییرات را مشخص نمایند. علاوه بر این، مدل‌های پیش‌بینی پراکنش قادر هستند با پیش‌بینی آشیان اقلیمی گونه‌ها، تغییرات احتمالی در دامنه پراکنش بالقوه آنها را پیش‌بینی کنند. این نتایج می‌تواند در توسعه استراتژی‌های مدیریت تطبیقی با هدف کاهش اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Erfanian et al., 2021).

امروزه تعداد زیادی از روش‌های مدل‌سازی پراکنش در دسترس هستند که می‌توان آنها را تحت عنوان روش‌های پروفایل، رگرسیونی و روش‌های یادگیری ماشین طبقه‌بندی کرد (Hijmans and Elith, 2019). این مدل‌ها به‌منظور پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌ها برای اهداف اکولوژیکی، زیستی و مدیریت منابع مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sor et al., 2017; Ashraf et al., 2018). در این بین برخی از روش‌های مدل‌سازی مانند روش‌های یادگیری ماشین، به‌دلیل ارائه یک چارچوب برای شناسایی متغیرهای تأثیرگذار، انتخاب این متغیرها را تسهیل می‌سازند (Evans et al., 2011). اما یک روش مدل‌سازی واحد نمی‌تواند در همه شرایط دارای عملکرد خوبی باشد. از سوی دیگر، به‌دلیل تفاوت‌های موجود بین روش‌های مختلف مدل‌سازی، انتخاب مناسب‌ترین روش مدل‌سازی دشوار است (Renner and Warton, 2013). از این رو در انتخاب روش بهینه مدل‌سازی، باید مجموعه‌ای از عوامل مانند خصوصیات گونه‌های گیاهی، داده‌های در دسترس، هزینه مورد نیاز و سهولت استفاده از یک روش مدل‌سازی ویژه در نظر گرفته شود (Piri Sahragard and Zare Chahouki, 2015). از

دیدگاه عملی، آگاهی از این که کدام مدل یا گروه از مدل‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف پیش‌بینی‌های دقیق‌تری تولید می‌کند، هسته مدیریت منابع است (Stohlgren et al., 2010).

مدل جمعی تعمیم یافته قادر است سطوح مختلف متغیرهای پاسخ را با استفاده از تابع پیوند مختلف برآورد کند، از این رو، به دلیل انعطاف‌پذیری بالاتر در مقایسه با روش تعمیم یافته خطی، در شناسایی نوع و شکل منحنی پاسخ گونه به عوامل محیطی دارای عملکرد بهتری است (جعفریان و کارگر، ۱۳۹۶). این روش به‌عنوان یکی از روش‌های تشخیص گروهی مطرح است که در دسته مدل‌های محلی یا غیرپارامتریک قرار می‌گیرد (Tarkesh and Jetschke, 2012). احمد و همکاران (Ahmad et al., 2021) عملکرد پیش‌بینی روش‌های رگرسیونی (روش جمعی تعمیم‌یافته و تعمیم‌یافته خطی) و روش‌های یادگیری ماشین (روش جنگل تصادفی، روش ماشین بردار پشتیبان) را در مدل‌سازی پراکنش گونه *Prosopis juliflora* در اتیوپی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج پژوهش این محققین نشان داد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین عملکرد پیش‌بینی روش‌های یادگیری ماشین و روش‌های رگرسیونی وجود ندارد. علاوه بر این، استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌تواند ظرفیت این روش‌ها را در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها افزایش دهد. روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون نیز به‌عنوان یکی از روش‌های قوی یادگیری ماشین دارای قابلیت اکتشاف است. در این روش نتایج پارامترهای به‌دست آمده از مدل پیش‌بینی استنباط نمی‌شود بلکه ساختار داده‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد (Lei et al., 2009; Williams et al., 2011). درخت‌های تصمیم در جاهایی که اثرات سلسله مراتبی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده وجود دارد مناسب هستند (به‌عنوان مثال روابط بین بارش و جهت) و نتایج ایجاد شده از این روش‌ها در مقایسه با دیگر روش‌های یادگیری ماشین از نظر اکولوژیکی از تفسیرپذیری بیشتری برخوردار است (Death and Fabricius, 2000). کارایی روش‌های جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در برآورد پراکنش رویشگاه بالقوه و شناخت نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی در مراتع خضری دشت بیاض خراسان جنوبی نشان داد که روش جمعی تعمیم یافته می‌تواند در شناخت دقیق از نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی و در نتیجه حدود پراکنش آنها در مقیاس محلی مفید باشد (کیفادی و همکاران، ۱۳۹۹). می و همکاران (Mi et al., 2017) از روش‌های شبکه درختی، جنگل تصادفی، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و حداکثر بی‌نظمی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های نادر استفاده و گزارش کردند که این روش‌ها قادر هستند نقشه‌های دقیقی از حدود پراکنش گونه‌ها در مناطق فاقد نمونه‌برداری فراهم آورند. از این رو می‌توان از نتایج این مدل‌ها در برنامه‌های حفاظت و اصلاح پوشش گیاهی استفاده کرد.

گونه *A. sieberi* به‌عنوان یکی از فراوان‌ترین گونه‌ها در مناطق استپی ایران دارای رویشگاه‌های متعددی است. این گونه به‌عنوان یک گونه علوفه‌ای مطلوب، سازگاری بالایی با شرایط فیزیکی مناطق

خشک و نیمه‌خشک داشته و به دلیل مقاومت به چرای مفرط، نقش اصلی را در حفاظت آب و خاک در مراتع مناطق بیابانی ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر بهره‌برداری بی‌رویه از رویشگاه‌های این گونه، پراکنش آن را با محدودیت‌های جدی مواجه نموده است (Zare Chahouki et al., 2010). از این رو، مدل‌سازی پراکنش این گونه علاوه بر فراهم‌آوردن امکان شناخت نیازهای بوم‌شناختی، زمینه را جهت بهره‌برداری پایدار و حفظ رویشگاه‌های گونه در مراتع مورد بررسی فراهم خواهد آورد. بر این اساس، این مطالعه با هدف ارزیابی قابلیت روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و جمعی تعمیم‌یافته در شناخت صحیح نیازهای رویشگاهی و تهیه نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه بالقوه گونه *A. sieberi* در مراتع پشتکوه استان یزد در مرکز ایران انجام شد.

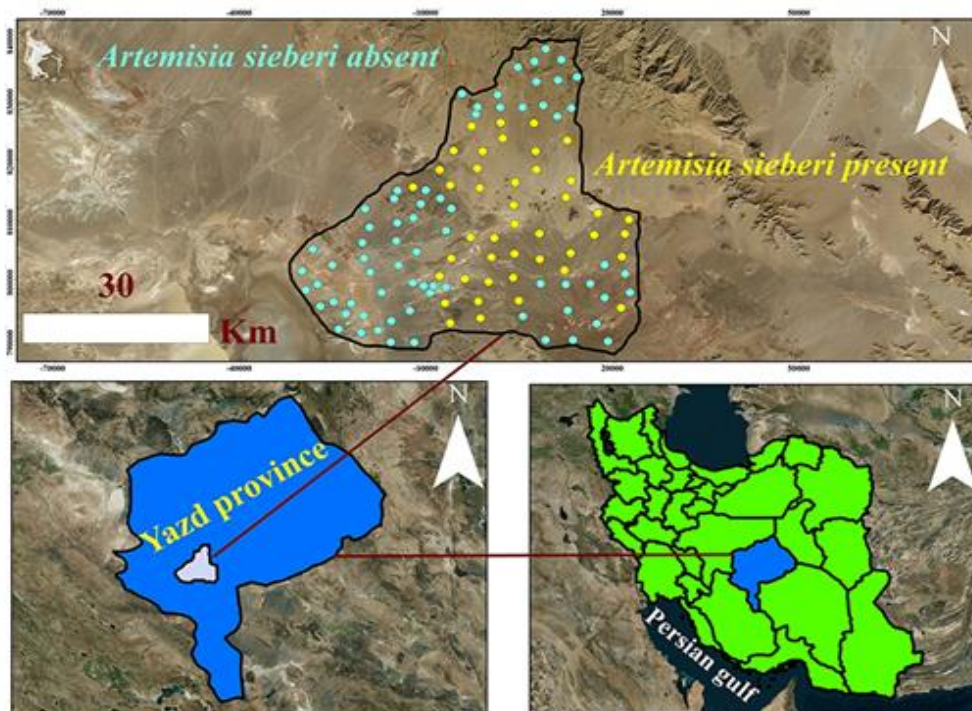
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در مراتع پشتکوه استان یزد به مساحت ۱۷۰۰۰۰ هکتار انجام شد. این منطقه در بین عرض‌های شمالی ۳۱° ۳۳' ۱۱" الی ۳۱° ۰۴' ۲۷" و طول‌های شرقی ۴۰° ۰۶' ۵۳" الی ۴۰° ۱۹' ۱۵" قرار گرفته است (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه از سطح دریا به ترتیب ۳۹۹۰ متر و ۱۴۰۰ متر است. متوسط بارندگی از ۲۷۰ میلی‌متر در ارتفاعات شیرکوه تا ۴۵ میلی‌متر در حاشیه کویر چاه بیکی متغیر است (Zare Chahouki and Piri Sahragard, 2016). تنوع شرایط محیطی و در نتیجه وجود رویشگاه‌های مختلف از دیگر ویژگی‌های بارز این منطقه است که امکان انجام پژوهش‌های مرتبط با مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها را در این منطقه فراهم آورده است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان یزد و ایران نشان می‌دهد.

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی و خاک: به‌منظور نمونه‌برداری از پوشش گیاهی، ابتدا با ادغام نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع و نقشه شکل زمین، واحدهای همگن بوم‌شناختی مشخص شد. با توجه به وجود بیش از یک تیپ گیاهی در هر واحد همگن، تیپ‌های رویشی گونه *A. sieberi* درون این واحدهای همگن شناسایی و نمونه‌برداری از پوشش گیاهی (حضور و عدم‌حضور گونه) به‌روش تصادفی - سیستماتیک و از طریق پلات‌گذاری در امتداد ترانسکت درون این تیپ‌های رویشی به‌عنوان واحد همگن انجام شد. تعداد ترانسکت بسته به وضعیت توپوگرافی منطقه در مناطق دشتی و مرتفع‌تر به ترتیب ۳ تا ۵ ترانسکت بود. علاوه بر این طول ترانسکت در مناطق دشتی ۵۰۰ و در مناطق مرتفع ۳۰۰ متر بود. تعداد واحدهای همگن ۱۱ واحد و رویشگاه‌های خالص *A. sieberi* نیز دو رویشگاه بود. سطح مناسب پلات‌ها با توجه به نوع گونه و تراکم پوشش آن، به روش سطح حداقل، ۲ مترمربع و تعداد آنها در هر تیپ رویشی، با توجه به تغییرات پوشش گیاهی و با استفاده از روش آماری، ۵۰ پلات

تعیین شد. علاوه بر ثبت نقاط حضور، موقعیت جغرافیایی نقاط عدم حضور گونه (نقاط حضور گونه‌های دیگر که به عنوان نقاط عدم حضور برای گونه مورد بررسی در نظر گرفته شد) نیز ثبت شد. نقاط حضور جمع‌آوری شده در بازدیدهای میدانی به صورت تصادفی به داده‌های یادگیری (۷۵٪) و آزمون (۲۵٪) تقسیم شد. برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک نیز در طول هر ترانسکت یک پروفیل حفر و از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۸۰ سانتی‌متر نمونه خاک برداشت شد (مجموعاً ۱۱۰ نمونه خاک). به دلیل این که برای تهیه نقشه خصوصیات خاک لازم است که پروفیل‌ها پراکنش مناسبی داشته باشد، نمونه‌برداری در نقاط دیگر از واحدها و در عمق‌های مشابه انجام شد (Carter, 2006). خصوصیات خاک شامل سنگریزه، بافت، رطوبت اشباع، رطوبت قابل دسترس، آهک، گچ، ماده آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی و املاح محلول (سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلر، کربنات، بیکربنات و سولفات) اندازه‌گیری و نقشه مربوط به متغیرهای محیطی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین آمار با وضوح مکانی یکسان (اندازه پیکسل ۳۰×۳۰ متر) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. برای تهیه نقشه خصوصیات خاک از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 و GS+ نسخه ۵/۱ استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان یزد، ایران به همراه نقاط حضور و عدم حضور گونه *A. sieberi*

تحلیل هم خطی و تقسیم داده‌ها جهت اجرای مدل‌ها

وجود هم خطی یا تابعیت خطی یک متغیر مستقل از سایر متغیرها یکی از دلایل افزایش خطای استاندارد برآورد ضرایب رگرسیونی، انجام پیش‌بینی‌های خارج از دامنه انتظار و در نتیجه کاهش کارایی مدل است. لذا به منظور بررسی وجود هم خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل، پیش از انجام مدل‌سازی شاخص کمی عامل تورم واریانس^۲ تعیین و متغیرهایی که مقدار این شاخص برای آنها بیشتر از ۱۰ بود، از تحلیل کنار گذاشته شدند (Naimi and Araújo, 2016; Ng et al., 2018). بر این اساس، متغیرهای آهک عمق اول و دوم، رطوبت در دسترس عمق اول، رس عمق اول و دوم و ماده آلی عمق اول و دوم خاک از تحلیل کنار گذاشته شدند (جدول ۱). پس از انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز هر روش، مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه بالقوه گونه *A. sieberi* با استفاده از روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و جمعی تعمیم یافته انجام شد. ارزیابی دقت مدل‌ها با استفاده از آماره مساحت سطح زیر منحنی در محیط نرم‌افزار R.3.3.1 انجام شد.

انجام مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش

مدل جمعی تعمیم یافته: عدم نیاز به نرمال بودن داده‌های ورودی و نداشتن پیش فرض راجع به شکل منحنی‌های پاسخ متغیرهای محیطی از ویژگی‌های مهم مدل جمعی تعمیم یافته است. این روش تعمیم یافته روش رگرسیون خطی و رگرسیون منطقی است، از این رو به آن روش افزایشی گفته می‌شود. زیرا این مدل را می‌توان به صورت مجموع چند تابع غیرخطی بیان نمود (معادله ۱). به منظور اجرای این مدل از پکیج mgcv در نرم‌افزار R.3.3.1 استفاده شد. برازش مدل جمعی تعمیم یافته به داده‌ها به وسیله بسته نرم‌افزاری mgcvR انجام شد که در آن پارامتر هموارسازی با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل تعمیم یافته انتخاب می‌شود.

$$\gamma = \alpha + \sum_{j=1}^p f_j(x_j)$$

رابطه ۱

در این رابطه $f_j(X_j)$: تابع هموارساز برازش شده بر متغیرهای مستقل محیطی و α : عرض از مبدأ است.

روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون: یکی از روش‌های مهم داده‌کاوی که قابلیت بالایی در شناخت متغیرهای مهم، حل مسائل مرتبط با دسته‌بندی و انجام پیش‌بینی‌های دقیق دارد روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون است. هدف این روش به‌عنوان یک روش درخت پایه، تهیه درختی است که بتوان به وسیله آن متغیر وابسته را برای یک رکورد جدید پیش‌بینی و تعیین کرد. در این روش

³-Variance Inflation Factor

شاخه‌ها به صورت دوتایی و تنها بر اساس یک فیلد (متغیر مستقل) ایجاد می‌شود. بهترین ایجاد شاخه هنگامی رخ می‌دهد که شاخه‌های حاصل طوری باشد که در هر شاخه یک کلاس بر دیگر کلاس‌ها غلبه کند و گوناگونی در مجموعه‌ها را به عنوان معیار ارزیابی شاخه‌ها، کم کند (پاک‌گهر، ۱۳۹۵). به منظور اجرای این روش نیز از پکیج Rpart در نرم افزار R.3.3.1 استفاده شد.

جدول ۱- آمار توصیفی مربوط به خصوصیات اندازه‌گیری شده به همراه شاخص تورم واریانس

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تعیین	تورم واریانس
شیب	۰/۵۸	۴۴/۲۳	۹/۳۴	۸/۷۴	۰/۴۰	۱/۶۷
سنگریزه (۲)	۰/۰۰	۳۰/۵۵	۱۷/۰۴	۷/۳۵	۰/۸۸	۸/۴۴
آهک (۱)	۰/۰۵	۴۲/۹۷	۱۳/۵۰	۸/۱۶	۰/۹۵	۲۱/۸۶
آهک (۲)	۰/۰۸	۳۵/۸۰	۱۴/۳۶	۶/۷۵	۰/۹۲	۱۳/۷۸
رطوبت در	۰/۲۰	۱۵/۱۱	۳/۳۹	۲/۸۴	۰/۹۵	۱۹/۹۷
رطوبت در	۰/۴۰	۱۲/۵۰	۴/۴۶	۲/۹۴	۰/۸۷	۷/۹۹
رس (۱)	۶/۲۰	۳۰/۵۰	۱۳/۵۷	۶/۰۲	۰/۹۴	۱۶/۹۲
رس (۲)	۴/۶۵	۲۹/۸۴	۱۳/۱۵	۶/۳۲	۰/۹۴	۱۶/۸۳
ماده آلی (۱)	۰/۰۰	۱/۵۰	۰/۴۶	۰/۳۴	۰/۹۱	۱۱/۵۹
ماده آلی (۲)	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۹۲	۱۳/۱۵
هدایت الکتریکی	۰/۱۰	۱۳۶/۳۱	۱۱/۶۴	۲۶/۸۷	۰/۸۹	۹/۳۹
اسیدیته (۱)	۷/۲۰	۸/۲۵	۷/۶۸	۰/۲۴	۰/۷۸	۴/۷۱
هدایت الکتریکی	۰/۰۵	۸۰/۱۹	۹/۰۳	۱۷/۸۶	۰/۸۸	۸/۳۱
اسیدیته (۲)	۷	۸/۸۵	۷/۸۲	۰/۳۶	۰/۷۱	۳/۵۲
سنگریزه (۱)	۰/۰۰	۲۸/۶۴	۱۱/۶۷	۵/۹۰	۰/۸۷	۷/۹۲

انتخاب حدود آستانه بهینه و ارزیابی میزان تطابق مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده

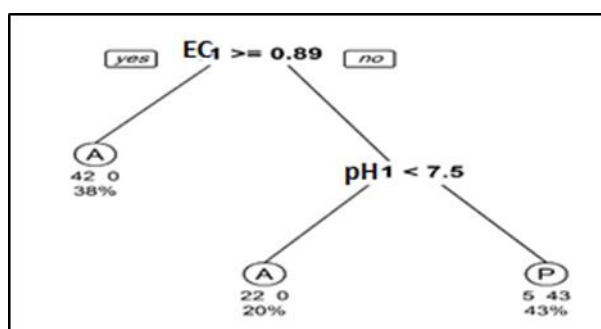
بعد از انجام مدل‌سازی و تهیه نقشه پیش‌بینی، به دلیل پیوسته بودن نقشه حاصل ضروری است حد آستانه بهینه حضور گونه در هر یک از مدل‌های پیش‌بینی حاصل مشخص شود. در این پژوهش به منظور تعیین حد آستانه بهینه حضور گونه از آماره واقعی مهارت در نرم‌افزار R.3.1.1 استفاده و نقشه پیش‌بینی حضور و غیاب گونه تهیه شد (Liu et al., 2016). این آماره، یکی از آماره‌های مناسب جهت تعیین آستانه بهینه حضور بوده و عدم وابستگی حساسیت مدل به غلبه گونه از دلایل انتخاب این روش جهت تعیین حد آستانه بهینه است (Allouche et al., 2006; Ahmadi et al., 2017). بعد از تهیه نقشه پیش‌بینی حضور و عدم حضور، اختلاف بین مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده از طریق محاسبه شاخص کاپا بررسی شد. این شاخص میزان توافق بین مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از

هر یک از مدل‌های مورد استفاده و مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از صفر تا یک متغیر است. شاخص کاپای کمتر از ۰/۴ نشان دهنده تشابه کم، بین ۰/۴ تا ۰/۵۵ نشان دهنده تشابه قابل قبول، بین ۰/۵۵ تا ۰/۷ تشابه خوب، از ۰/۷ تا ۰/۸۵ نشان دهنده تشابه خیلی خوب و مقدار شاخص کاپای بیشتر از ۰/۸۵ نشان دهنده تطابق عالی بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده است (Zare Chahouki et al., 2010).

نتایج

تحلیل اهمیت متغیرها

مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون: نتایج حاصل از اجرای مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون که به صورت هرس شده نمایش داده شده است بیانگر آن است که متغیرهای اسیدیته و هدایت الکتریکی عمق اول خاک بیشترین تأثیر را در حضور گونه مورد بررسی در رویشگاه دارند (شکل ۲). علاوه بر این بررسی اهمیت نسبی متغیرها در مدل‌سازی نیز این نتایج را تأیید می‌کند (جدول ۲).



شکل ۲- نمودار درخت هرس شده حاصل از مدل طبقه‌بندی و رگرسیون

مدل جمعی تعمیم یافته: تحلیل اهمیت متغیرها در مدل جمعی تعمیم یافته نشان می‌دهد که متغیرهای سنگریزه عمق اول، رطوبت در دسترس عمق دوم، هدایت الکتریکی عمق اول، اسیدیته عمق اول، هدایت الکتریکی عمق دوم و اسیدیته عمق دوم خاک بر حضور گونه مورد مطالعه تأثیرگذار هستند (سطح معنی‌داری $> 0/05$).

جدول ۲- درصد اهمیت متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه *A.sieberi* در مدل درخت طبقه‌بندی

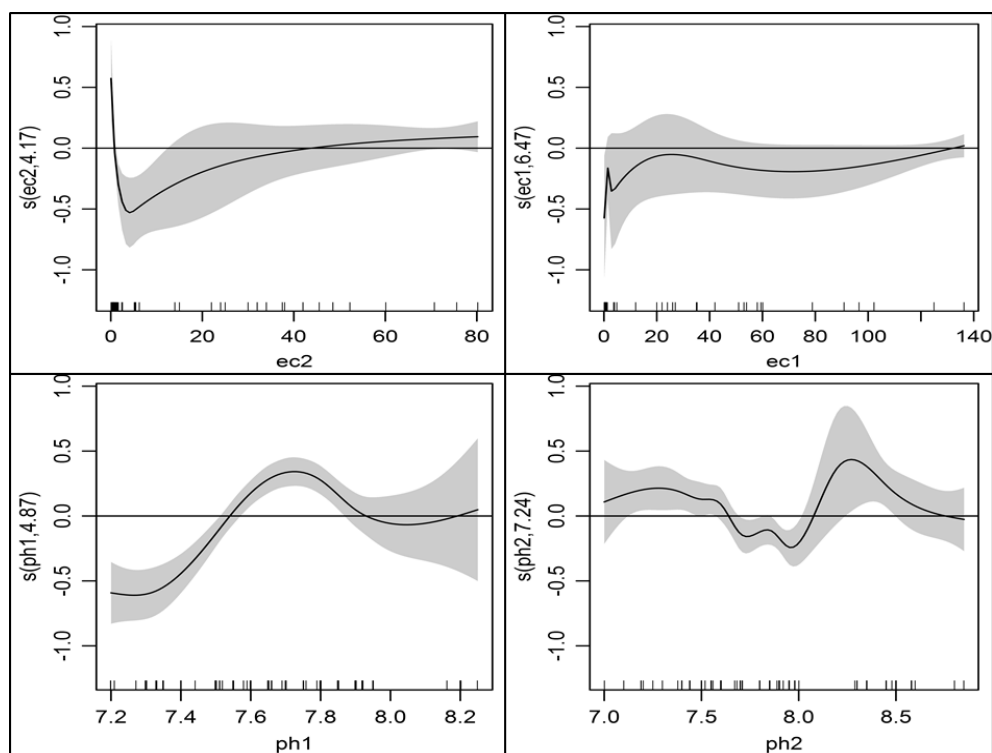
متغیر محیطی	درصد اهمیت متغیر در پراکنش گونه
اسیدیته (۱)	۲۷
هدایت الکتریکی (۱)	۲۶
هدایت الکتریکی (۲)	۲۰
اسیدیته (۲)	۱۲
رطوبت در دسترس (۲)	۵
شیب	۵
سنگریزه (۱)	۳
سنگریزه (۲)	۲

با توجه به مقدار درجه آزادی، می‌توان عنوان کرد بین احتمال حضور گونه *A.sieberi* با متغیر سنگریزه عمق اول خاک رابطه خطی وجود دارد (درجه آزادی ۱). زیرا درجه آزادی یک بیانگر آن است که عبارت هموارسازی به صورت خطی برازش می‌شود. هر چند علیرغم وجود رابطه خطی بین حضور گونه و این متغیر، این رابطه از نظر آماری معنی‌دار نیست (جدول ۵). نتایج مربوط به نمودار مؤلفه‌های هموارسازی برای متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه *A.sieberi* نیز نشان می‌دهد که هیچ رابطه خطی بین متغیرهای پاسخ با حضور گونه وجود ندارد، به عبارت دیگر، نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی عمق اول و دوم و اسیدیته عمق اول و دوم خاک مهم‌ترین متغیرها در حضور گونه *A.sieberi* هستند و با حضور گونه رابطه غیرخطی دارند (درجه آزادی ۶). (شکل ۳).

جدول ۳- نتایج حاصل از برازش مدل جمعی تعمیم یافته بر متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از بسته نرم افزار

متغیر	درجه آزادی	p-value	sig
شیب	۰/۰۳	۰/۴۳	ns
سنگریزه (۲)	۶	۰/۰۲	*
آب قابل دسترس (۲)	۶	۰/۰۰	**
هدایت الکتریکی (۱)	۶	۰/۰۰	***
اسیدیته (۱)	۴	۰/۰۰	***
هدایت الکتریکی (۲)	۴	۰/۰۰	***
اسیدیته (۲)	۷	۰/۰۰	***
سنگریزه (۱)	۱	۰/۳۸	ns

سطح معنی داری: * : ۵ درصد؛ ** : یک درصد؛ *** : یک هزارم؛ ns : غیر معنی دار



شکل ۳- رابطه برخی از متغیرهای محیطی معنی دار در مدل جمعی تعمیم یافته با حضور گونه *A.sieberi*

ارزیابی دقت طبقه‌بندی مدل‌های پیش‌بینی: بر اساس نتایج ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده، مقادیر سطح زیر منحنی حاصل از دو روش از یکدیگر متفاوت است. نتایج نشان داد که عملکرد پیش‌بینی مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در مقایسه با مدل جمعی تعمیم یافته بهتر است (مقدار سطح زیر منحنی به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۸۹) (جدول ۴). همچنین بر اساس مقادیر ضریب کاپا، مقدار ضریب کاپای مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون نیز بیشتر از مدل جمعی تعمیم یافته است. (به ترتیب ۰/۹ و ۰/۸۸). مقادیر دیگر آماره‌های مربوط به ارزیابی مدل در جدول شماره ۵ آمده است. همچنین بررسی مقدار حد آستانه نیز نشان داد که مقدار این آماره برای مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و مدل جمعی تعمیم یافته به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۵۷ است (شکل ۴). بر اساس مقادیر حد آستانه حضور گونه و ارزیابی قابلیت تمایز مدل‌های پیش‌بینی می‌توان گفت که مدل جمعی تعمیم یافته نسبت به درخت طبقه‌بندی و رگرسیون توانایی کمتری در تمایز حضور و عدم حضور گونه A. *sieberi* دارد (حساسیت=۰/۹)، در صورتی که مدل حاصل از روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون با مقادیر حساسیت یک دارای قابلیت بیشتری در طبقه‌بندی حضور و عدم حضور گونه A. *sieberi* است. به عبارت دیگر، مدل جمعی تعمیم یافته در مقایسه با مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون دارای عملکرد ضعیف‌تری در تشخیص حضور و عدم حضور گونه است، زیرا با لحاظ کردن حد آستانه بهینه ۰/۵۷ توانایی مدل در تشخیص حضور و عدم حضور گونه از ۰/۹ فراتر نرفته است. نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه A. *sieberi* حاصل از هر یک از این مدل‌های پیش‌بینی بعد از اعمال حد آستانه در شکل ۵ آمده است.

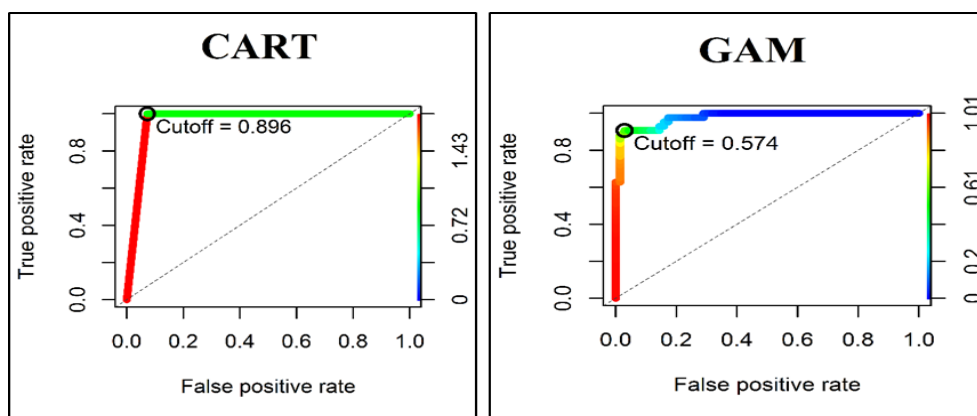
جدول ۴- ارزیابی دقت طبقه‌بندی مدل‌های مورد استفاده در مدل‌سازی رویشگاه گونه A. *sieberi* بر اساس

آماره سطح زیر منحنی

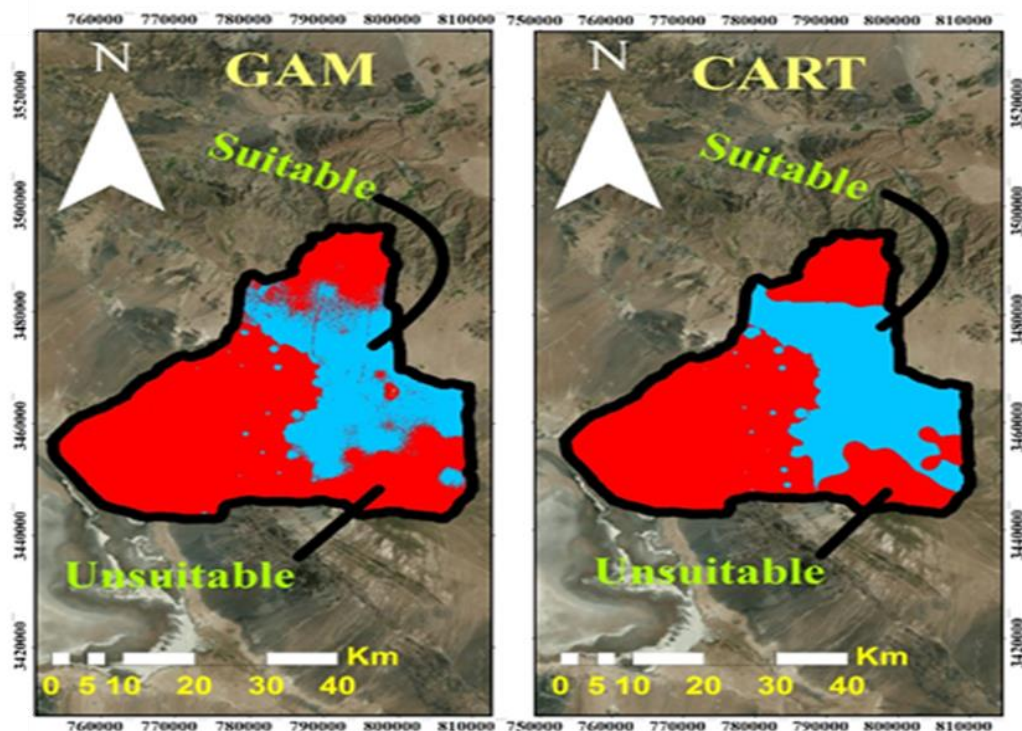
مقدار آماره سطح زیر منحنی (آموزش)					
مدل	سطح زیر منحنی	خطای استاندارد	حد پایین (۹۵٪)	حد بالا (۹۵٪)	سطح معنی‌داری
GAM	۰/۹۷۸	۰/۰۰۴	۰/۸۹۶	۰/۹۳۵	<۰/۰۰۰۱
CART	۰/۹۶۴	۰/۰۰۸	۰/۹۷۰	۰/۹۸۵	<۰/۰۰۰۱
مقدار آماره سطح زیر منحنی (آزمون)					
مدل	سطح زیر منحنی	خطای استاندارد	حد پایین (۹۵٪)	حد بالا (۹۵٪)	P-Value
GAM	۰/۹۱۸	۰/۰۲۲	۰/۸۷۵	۰/۹۶۱	<۰/۰۰۰۱
CART	۰/۹۸۶	۰/۰۰۵	۰/۹۷۶	۰/۹۹۵	<۰/۰۰۰۱

جدول ۵- آماره‌های مربوط به عملکرد کلی پیش‌بینی مدلها مورد استفاده با توجه به حد آستانه اعمال شده بر هر یک از این مدلها

پارامتر	CART	GAM
دقت	۰/۹۵۵	۰/۹۴۶
حساسیت	۱	۰/۹۰۷
اختصاصیت	۰/۰۷۲	۰/۰۲۹
کاپا	۰/۹۰۸	۰/۸۸۶
حد آستانه	۰/۵۷۴	۰/۸۹۶



شکل ۴- حدود آستانه بهینه حضور گونه *A. sieberi* در مدل‌های پیش‌بینی مورد استفاده



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه *A. sieberi* پس از اعمال حدود آستانه بهینه در مراتع پشتکوه استان یزد (نقشه پیش‌بینی با رنگ آبی ارائه شده است).

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های مورد استفاده، خصوصیات مربوط به خاک دارای بیشترین تأثیر در پراکنش گونه *A. sieberi* در مراتع پشتکوه استان یزد هستند. از بین متغیرهای مورد بررسی، در مجموع متغیرهای هدایت الکتریکی عمق اول، اسیدیته عمق اول و رطوبت در دسترس عمق دوم خاک نقش مهم‌تری را در پراکنش گونه *A. sieberi* در مراتع مورد مطالعه دارند. پژوهشگران متعددی نقش خصوصیات خاک را به‌عنوان یکی از مهمترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار که در مناطق خشک نقش کنترلی بر پراکنش جوامع گیاهی دارند، مورد تأکید قرار داده‌اند (El-Amier, 2016; Piri Sahragard et al., 2019). در راستای نتایج پژوهش حاضر، تأثیر برخی از خصوصیات خاک مانند اسیدیته، هدایت الکتریکی و همچنین رطوبت در دسترس بر پراکنش این گونه در مطالعات مشابه نیز گزارش شده است (Hosseini et al., 2013; Zare Chahouki and Piri Sahragard, 2016).

همچنین زارع چاهوکی و همکاران (Zare Chahouki et al., 2012) گزارش کردند که به دلیل تأثیر رطوبت در دسترس خاک در رخدادهای تیپ‌های رویشی، بین حضور گونه *A. sieberi* در یک منطقه، با مقدار رطوبت در دسترس خاک ارتباط مستقیم وجود دارد.

نتایج حاصل از تفسیر منحنی‌های پاسخ متغیرهای رویشگاهی نیز نشان داد که با افزایش میزان هدایت الکتریکی عمق اول و دوم خاک از مطلوبیت رویشگاه گونه *A. sieberi* کاسته می‌شود. این بدان معنی است که افزایش مقدار شوری خاک، باعث محدود شدن رشد گونه شده و استقرار آن را با مشکل مواجه می‌سازد. همچنین بررسی منحنی پاسخ اسیدیته عمق اول و دوم خاک به‌عنوان یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه نشان می‌دهد که با افزایش مقدار این عامل بر میزان مطلوبیت رویشگاه افزوده می‌شود. به عبارت دیگر، به دلیل اثرپذیری شاخص اسیدیته خاک از مقدار آهک، با افزایش مقدار آهک خاک به اندازه مناسب و به دنبال آن افزایش در میزان اسیدیته خاک، قابلیت جذب و دسترسی به مواد غذایی از قبیل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم افزایش یافته و شرایط جهت استقرار گونه مذکور مساعد می‌شود. هر چند باید به این نکته نیز توجه داشت که افزایش بیش از حد آهک خاک می‌تواند با ایجاد سخت لایه در خاک مشکلاتی را در جذب بعضی از مواد غذایی توسط گیاهان ایجاد نماید (جوادی و همکاران، ۱۳۹۵). مشاهدات میدانی در رویشگاه این گونه نیز نشان‌دهنده آن است که با کاهش میزان شوری و افزایش میزان آهک خاک، شرایط برای استقرار گونه *A. sieberi* فراهم شده است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که گونه *A. sieberi* گونه‌ای آهک‌دوست است و پراکنش آن با میزان شوری خاک رابطه معکوس دارد (Zare Chahouki et al., 2010; Hosseini et al., 2013; Piri Sahragard et al., 2019).

مقایسه عملکرد پیش‌بینی روش‌های مورد استفاده نیز نشان می‌دهد که بر اساس مقادیر سطح زیرمنحنی و شاخص کاپا هر چند عملکرد این روش‌ها از یکدیگر متفاوت است اما دقت پیش‌بینی دو روش مورد استفاده در پژوهش حاضر اختلاف قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر ندارد. بر این اساس، از نظر دقت پیش‌بینی، مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در مقایسه با مدل جمعی تعمیم یافته عملکرد بهتری از خود نشان داد، به گونه‌ای که میزان انطباق بین مقادیر پیش‌بینی و مقادیر واقعی حاصل از این مدل بالاست (۹۰ درصد). از خصوصیات بارز این روش که باعث بهبود عملکرد پیش‌بینی آن می‌شود می‌توان به انعطاف‌پذیری بسیار زیاد روش برای برازش مدل روی هر نوع داده اشاره کرد (پاک‌گهر، ۱۳۹۵). علاوه بر این، روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون به دلیل ناپارامتری بودن، نداشتن فرض راجع به پراکنش گونه‌ها، عدم نیاز به تبدیل متغیرها، قابلیت شناسایی و ترکیب برهمکنش‌های پیچیده بین متغیرهای محیطی و قابلیت پشتیبانی از داده‌های چند بعدی یا داده‌های با ابعاد بالا، سهولت تفسیر نتایج و قابلیت بررسی داده‌هایی که رفتار غیرخطی یا سلسله مراتبی از خود نشان می‌دهند، در

بوم‌شناسی مورد توجه است (Rogan et al., 2008). از محدودیت‌های این روش نیز می‌توان به مستعد بودن به بیش‌برازش، ضعف در نمایش واریانس دقیق داده‌ها اشاره کرد که این امر می‌تواند تفسیر نتایج به‌دست آمده را با مشکل مواجه سازد. علاوه بر این هم‌راستایی بین متغیرهای مستقل نیز می‌تواند سبب بروز مشکل در تفسیر نتایج شده و انحراف در شاخص جینی را به‌مراه داشته باشد (Sutton, 2005). مدل جمعی تعمیم یافته نیز از جمله روش‌های داده‌محور است که با کشف روابط غیر یکنواخت بین متغیر پاسخ و مجموعه متغیرهای پیشگو قادر است کیفیت پیش‌بینی متغیر پاسخ را به حداکثر برساند (جعفریان و کارگر، ۱۳۹۶). همچنین این مدل می‌تواند با ارائه اشکال مختلف منحنی‌های عکس‌العمل گونه به متغیرهای محیطی، به تفسیر اکولوژیکی روابط بین پراکنش گونه‌ها و عوامل محیطی تأثیرگذار کمک نماید. از دیگر ویژگی‌های این روش می‌توان به نداشتن پیش‌فرض راجع به شکل منحنی پاسخ و داده‌محور بودن آن اشاره کرد. این امر بدان معنی است که در این روش نتایج مقادیر پارامترهای به‌دست آمده از مدل پیشین استنباط نمی‌شود، بلکه ابتدا ساختار داده‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد. از دیگر مزیت‌های مدل جمعی تعمیم یافته به مدل خطی تعمیم یافته می‌توان توانایی این روش در به حداکثر رساندن کیفیت پیش‌بینی متغیر وابسته و کشف روابط غیرخطی بین متغیر پاسخ و مجموعه متغیرهای تبیینی اشاره کرد (Hasti and Tibshirani, 1990).

در مجموع با توجه به نتایج حاصل از دو روش مورد استفاده باید خاطر نشان کرد که ممکن است بهترین مدل از نظر عملکرد، از نظر قابلیت کاربرد بهترین نباشد. زیرا عملکرد پیش‌بینی یک مدل به دانش نظری ما نسبت به چگونگی عملکرد آن و تنظیمات مربوط به برخی پارامترها مانند تغییر در تعداد درختان یا حذف متغیرهای با اهمیت پایین‌تر بستگی دارد (Elith and Graham, 2009). از سوی دیگر، هر مدل بر اساس داده‌هایی که از یک منطقه خاص جمع‌آوری شده ساخته می‌شود لذا استفاده از آن مدل خاص برای مناطق جغرافیایی دیگر مشکل است. به‌عبارت دیگر، هر مدل عملکرد منحصر به فردی را از خود نشان می‌دهد که مختص همان منطقه است و نتایج حاصل برای منطقه مورد مطالعه نسبت به مناطق دیگر جغرافیایی قابلیت کاربرد بیشتری دارد. به‌عبارت دیگر، عملکرد روش‌های یکسان مدل‌سازی در مناطق مختلف جغرافیایی متفاوت خواهد بود (Randin et al., 2006). بنابراین با توجه به نکات ذکر شده نمی‌توان در مورد عملکرد روش‌های مورد استفاده با قطعیت نتیجه‌گیری کرد و لازم است عملکرد این روش‌ها در مناطق دیگر با مقیاس‌های مشابه با منطقه مورد مطالعه و همچنین گونه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد و سپس در مورد قابلیت این روش‌ها نتیجه‌گیری شود.

در پژوهش حاضر قابلیت دو روش مدل جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در تهیه نقشه پیش‌بینی پراکنش و شناخت نیازهای رویشگاهی گونه *A. sieberi* با استفاده از داده‌های محیطی و داده‌های مربوط به حضور و عدم‌حضور گونه در مراتع پشتکوه استان یزد مورد ارزیابی قرار

گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش، متغیرهای هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش این گونه در منطقه مورد بررسی هستند. همچنین بر اساس مقادیر سطح زیر منحنی و مقادیر شاخص کاپا، به‌طور کلی، عملکرد پیش‌بینی مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در مقایسه با مدل جمعی تعمیم یافته بهتر بود (به ترتیب ضریب کاپای ۰/۹ و ۰/۸۸). این نتایج نشان می‌دهد که روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در برآورد دامنه پراکنش رویشگاه این گونه در مقایسه با روش دیگر از دقت بالاتری برخوردار است و توانسته است متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه و همچنین وزن آنها را به‌خوبی برآورد کند که نتیجه این عملکرد خوب، در ارائه نقشه پیش‌بینی دقیق‌تر نمایان شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون قادر است با شناخت دقیق از نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی و در نتیجه برآورد صحیح حدود پراکنش گونه‌ها در مقیاس محلی مفید باشد و به‌عنوان بخشی از یک سیستم پشتیبان مدیریتی موجب اتخاذ تصمیمات صحیح مدیریتی در خصوص حفاظت و احیای پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شود و زمینه بهره‌برداری پایدار از پوشش گیاهی مراتع منطقه مورد مطالعه را فراهم آورد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی علاوه بر خصوصیات محیطی معمول مورد استفاده، با بهره‌گیری از تصاویر سنجنش از دور، ترکیبی از متغیرهای مستخرج از شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص‌های خاک و متغیرهای بیوفیزیکی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- جعفریان، ز.، کارگر، م. ۱۳۹۶. مقایسه مدل‌های جنگل تصادفی (RF) و درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) در پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی در مراتع پلور، مازندران. بوم‌شناسی کاربردی. ۶(۱): ۴۱-۵۵.
- جوادی، س. ا.، خان آرمویی، ع.، جعفری، م. ۱۳۹۵. بررسی ارتباط فاکتورهای پوشش گیاهی و خصوصیات خاک (مطالعه موردی پارک ملی خجیر). مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۲): ۳۶۶-۳۵۳.
- پاک‌گهر، ع. ۱۳۹۵. مقایسه کارایی روش‌های رده‌بندی‌کننده رگرسیون لجستیک و رگرسیون درختی برای متغیرهای وابسته باینری، گستره علوم آماری، ۱(۲): ۱۴-۷.
- کیقبادی، م.، پیری صحراگرد، ح.، پهلوان راد، م.، کرمی، پ.، یاری، ر. ۱۳۹۹. کاربرد مدل جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در برآورد پراکنش رویشگاه بالقوه گونه‌های مرتعی (مطالعه موردی: مراتع خضری دشت بیاض، خراسان جنوبی). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۷(۳): ۵۶۱-۵۷۶.

- Ahmadi, M., Nezami Balouchi, B., Jowkar, H., Hemami, M.R., Fadakar, D., Malakouti-Khah, S.H., Ostrowski, S. 2017. Combining landscape suitability and habitat connectivity to conserve the last surviving population of cheetah in Asia. *Diversity and Distributions*, 23(6): 592-603. <https://doi.org/10.1111/ddi.12560>.
- Ahmed, N., Atzberger, C., Zewdie, W. 2021. Species Distribution Modelling performance and its implication for Sentinel-2-based prediction of invasive *Prosopis juliflora* in lower Awash River basin, Ethiopia. *Ecological Process* 10, 18. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00285-6>.
- Allouche, O.A., Tsoar, Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6):1223-1232.
- Ashraf, U., Chaudhry, M.N., Ahmad, S.R., Ashraf, I., Arslan, M., Noor, H., Jabbar, M. 2018. Impacts of climate change on *Capparis spinosa* L. based on ecological niche modeling. *PeerJ*, 6:e5792 <https://doi.org/10.7717/peerj.5792>.
- Carter, G.M., Stolen, E.D., Breininger, D. R. 2006. A rapid approach to modeling species-habitat relationships. *Biological conservation*, 127: 237-244.
- Death, G., Fabricius, K.E. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81: 3178-3192.
- El-Amier, Y.A. 2016. Vegetation structure and soil characteristics of five common geophytes in desert of Egypt. *Egyptian journal of basic and applied science*, 3: 172-186.
- Elith, J., Graham, C. 2009. Do they? How do they? Why do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*, 32: 66-77.
- Elith, J., Leathwick, J.R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 40: 677- 697.
- Erfanian, M.B., Sagharyan, M., Memariani, F., Ejtehadi, H. 2021. Predicting range shifts of three endangered endemic plants of the Khorassan-Kopet Dagh floristic province under global change. *Scientific Reports*, 11: 9159 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88577-x>
- Evans, J.S., Murphy, M.A., Holden, Z.A., Cushman, S.A. 2011. Modeling species distribution and change using Random Forest. In: Drew C.A., Wiersma Y.F. and Huettmann F. (eds.), *Predictive Species and Habitat Modeling in Landscape Ecology*, Springer New York, 139-159.
- Franklin, J. 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hastie, T., Tibshirani, R. 1990. Nonparametric logistic and proportional odds regression. *Applied statistics*: 260-276.

- Hosseini S.Z., Kappas, M., Zare Chahouki, M.A., Gerold, G., Erasmi S., Rafiei Emam, A. 2013. Modelling potential habitats for *Artemisia sieberi* and *Artemisia aucheri* in Poshtkouh area, central Iran using the maximum entropy model and geostatistics. *Ecological Informatics*, 18: 61-68.
- Hijmans, R.J., Elith, J. 2019. Spatial distribution models. <https://rspatial.org/sdm/SDM.pdf>. Accessed date 10 June 2020.
- Kaky, E., Nolan, W., Alatawi, A., Gilbert, F. 2020. A comparison between Ensemble and MaxEnt species distribution modelling approaches for conservation: A case study with Egyptian medicinal plants. *Ecological Informatics*, 60: 101150, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101150>.
- Lei, Z., Shirong, L., Pengsen, S., Wang, T. 2011. Comparative evaluation of multiple models of the effects of climate change on the potential distribution of *Pinus massoniana*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 35(11):1091-1105.
- Liu, C., Newell, G., White, M. 2016. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data. *Ecology and Evolution*, 6(1): 337-348.
- Mi, C., Huettmann, F., Guo, Y., Han, X., Wen, L. 2017. Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large under sampled areas? Three Asian crane species models provide supporting evidence. *PeerJ* 5:e2849; DOI 10.7717/peerj.2849.
- Naimi, B., Araújo, M.B. 2016. Sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39:368-375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>.
- Ng, W.T., Silva, A.C.O., Rima, P., Atzberger, C., Immitzer, M. 2018. Ensemble approach for potential habitat mapping of invasive *Prosopis* spp. in Turkana, Kenya. *Ecology and Evolution*, 8(23):11921-11931. <https://doi.org/10.1002/ece3.4649>.
- Piri Sahragard, H., Zare Chahouki, M.A. 2015. An evaluation of predictive habitat models performance of plant species in Hoze soltan rangelands of Qom province. *Ecological Modelling*, 309-310: 64-71.
- Piri Sahragard, H., Keshtegar, B., Zare Chahouki, M.A. 2019. Modeling spatial distribution of plant species using autoregressive logistic regression method-based conjugate search direction. *Plant Ecology*, 220 (2): 267-278. doi: 10.1007/s11258-019-00911-6.
- Randin, C.F., Dirnböck, T., Dullinger, S., Zimmermann, N.E., Zappa, M., Guisan, A. 2006. Are niche-based species distribution models transferable in space? *Journal of Biogeography*, 33(10):1689-1703.
- Renner, I.W., Warton, D.I. 2013. Equivalence of MaxEnt and Poisson point process models for species distribution modeling in ecology. *Biometrics* 69, 274e281.

- Rogan, J., Franklin, J., Stow, D., Miller, J., Woodcock, C., Roberts, D. 2008. Mapping land-cover modification over large areas: a comparison of machine learning algorithms. *Remote Sens Environment*, 112:2272–2283.
- Sor, R., Park, Y.S., Boets, P. 2017. Effects of species prevalence on the performance of predictive models. *Ecological Modelling*, 354, 11-19. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2017.03.006.
- Stohlgren, T.J., Ma, P., Kumar, S., Rocca, M., Morisette, J.T., Jarnevich, C.S., Benson, N. 2010. Ensemble habitat mapping of invasive plant species. *Risk Analysis*, 30: 224-235.
- Sutton, C.D. 2005. Classification and regression trees, bagging, and boosting. In: Rao CR, Wegman EJ, Solka JL (eds) *Handbook of statistics: data mining and data visualization*, 24. Elsevier, Amsterdam.
- Tarkesh, M., Jetschke, G. 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. *Environmental and Ecological Statistics*, 19: 437-457.
- Williams, J.N., Seo, C.H., Thorne, J., Nelson, J.K., Erwin, S., Brien, J.M.O., Schwartz, M.W. 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Diversity and Distributions*, 15: 565-576.
- Zare Chahouki, M.A., Khalasi Ahvazi, L., Azarnivand, H. 2012. Comparison of three modeling approaches for predicting plant species distribution in mountainous scrub vegetation (Semnan rangelands, Iran). *Polish Journal of Ecology*, 60(2): 105-117.
- Zare Chahouki, M.A., Piri Sahragard, H. 2016. Maxent modelling for distribution of plant species habitats of rangelands (Iran). *Polish journal of ecology*, 64 (4): 453-467.
- Zare Chahouki, M.A., Azarnivand, H., Jafari, M., Tavili, A., 2010. Multivariate statistical methods as a tool for model-based prediction of vegetation types. *Russian Journal of Ecology*, 41(1): 84-94.