مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJRDR.2020.342106.1947
جلد ۲۷ شماره ۳، صفحه ۵۷۶-۵۶۱، (۱۳۹۹) شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0875.1399.27.561.80.3.1603.41

کاربرد مدل جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در برآورد پراکنش رویشگاه بالقوه گونه‌های گیاهی مرتعی (مطالعه موردی: مراتع خضری دشت بیاض، خراسان جنوبی)

ملیحه کیقبادی[۱]، حسین پیری‌صحراگرد[۲*]، محمدرضا پهلوان‌راد[۳]، پیمان کرمی[۴] و رضا یاری[۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مرتع‌داری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران، پست الکترونیک: hopiry@uoz.ac.ir

۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم محیطی، دانشکده منابع طبیعی و علوم محیطی، دانشگاه ملایر، ایران

۵- استادیار، علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۱

چکیده

مدل‌های پراکنش گونه‌ها با کمی‌کردن ارتباط بین پراکنش گونه‌ها و متغیرهای محیطی تأثیرگذار، اساس تصمیمات آگاهانه در مدیریت پوشش گیاهی هستند. هدف این پژوهش ارزیابی کارایی روش‌های جمعی تعمیم یافته (GAM) و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART) در برآورد پراکنش رویشگاه بالقوه و شناخت نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی در مراتع خضری دشت بیاض خراسان جنوبی بود. با توجه به شرایط منطقه و بازدید میدانی، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی به‌روش تصادفی- سیستماتیک در سطحی حدود ۱۴۵۰۰ هکتار انجام شد. ۱۸ متغیر محیطی شامل خصوصیات زمین، شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص شوری به‌عنوان تخمین‌گر برای تهیه نقشه‌های متغیرهای پیشگو مورد استفاده قرار گرفت. پس از انجام مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه با استفاده از روش CART و GAM در نرم‌افزار R 3.5.2، ارزیابی دقّت مدل‌ها نیز با استفاده از آماره سطح زیرمنحنی (AUC) انجام شد. بعد از تعیین حد آستانه به روش TSS، نقشه پیوسته مطلوبیت به نقشه حضور/عدم حضور تبدیل و میزان تطابق نقشه‌ها با شاخص کاپا محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصل از مدلهای مورد استفاده، متغیرهای سطح پایه شبکه کانال‌ها، فاصله عمودی به شبکه کانال، عمق دره، شاخص خیسی و موقعیت نسبی شیب در مطلوبیت رویشگاه برای استقرار گونه‌ها تأثیرگذار هستند. در مجموع، روش GAM در برآورد دامنه پراکنش رویشگاه همه گونه‌های مورد بررسی از دقّت بالاتری برخوردار است (Kappa ≥ 0.9). بر اساس نقشه‌های حاصل از مدل GAM، بیشترین و کمترین وسعت رویشگاه بالقوه به گونه‌های *S. rigida* و *T. serotina* اختصاص دارد. بنابراین روش GAM می‌تواند در شناخت دقیق از نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی و در نتیجه حدود پراکنش آنها در مقیاس محلی مفید باشد. در نتیجه پیشنهاد می‌شود این روش به‌عنوان بخشی از یک سیستم پشتیبان مدیریتی در حفاظت و احیای پوشش گیاهی در مراتع خضری دشت بیاض مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مرتع، رویشگاه بالقوه، GAM، CART، مراتع خضری.

مقدمه

پوشش‌گیاهی مهمترین عامل تأثیرگذار بر پایداری و تعادل اکوسیستم‌های طبیعی است و اهمیّت آن در کنترل فرسایش و رواناب کاملاً پذیرفته شده است (Sauer & Ries, 2008). ازاین‌رو شناخت عوامل محیطی مؤثر بر استقرار و پراکنش گیاهان می‌تواند با کمک به شناخت

گونه‌های بومی سازگار در هر ناحیه امکان مدیریت بوم-شناختی این گونه‌ها را فراهم کند (Zare Chahouki *et al.*, 2014). به بیان دیگر، با توجه به اینکه عوامل محیطی بیشترین اثر را در پیدایش گونه‌های گیاهی و ثبات گونه‌ها دارند، می‌توان با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی توزیع گونه‌ای و شناسایی عوامل تأثیرگذار، پاسخ گونه‌های گیاهی را در مقابل متغیرهای محیطی بررسی نمود (Jafarian & Kargar, 2017). پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی مختلف برآیند عوامل محیطی، نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی و دامنه بردباری هر گونه نسبت به عوامل محیطی مهم در هر رویشگاه است (Piri Sahragard & Piri, 2016). نتایج حاصل از مدل‌سازی روابط گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی می‌تواند در شناخت عوامل مؤثر بر پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شناخت عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌ها به‌منظور معرفی گونه مناسب در عملیات اصلاحی و مشخص کردن تناسب رویشگاه برای استقرار گونه‌های گیاهی، پایش پوشش گیاهی و راهبردهای مربوط به احیاء پوشش‌گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، همچنین در طرح‌های مقابله بیولوژیک با فرسایش مؤثر باشد (Khalasi Ahvazi *et al.*, 2012; Tarkesh & Jetshcke, 2012; Mossivand *et al.*, 2018). در این راستا استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی و مدل‌سازی برای درک پیچیدگی مرتع و ارزیابی دقیق‌تر و بهتر اکوسیستم‌ها بسیار ضروری به نظر می‌رسد، به‌طوری‌که مدل‌های پراکنش گونه‌ها یکی از ابزارهای اصلی مورد استفاده برای پیش‌بینی-های صحیح شرایط محیطی هستند که از طریق شناسایی روابط آماری بین مشاهدات گونه‌ها و متغیرهای محیطی به-دست می‌آیند (Franklin, 2010; Peterson *et al.*, 2011; Guisan *et al.*, 2013). در واقع این مدل‌ها با کمی‌کردن ارتباط بین پراکنش گونه‌ها و متغیرهای محیطی تأثیرگذار و همچنین شناخت محدوده توزیع و پراکنش گونه‌ها، پایه و اساس تصمیمات آگاهانه در مدیریت و حفاظت از پوشش گیاهی در یک منطقه هستند (Piri Sahragard & Piri, 2016; Kargar *et al.*, 2017; Esfanjani *et al.*, 2017). بر این اساس، در سال‌های اخیر پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها به بخش مهمی از برنامه‌ریزی حفاظت تبدیل شده‌است و فنون مدل‌سازی به شکل گسترده‌ای توسعه یافته است (Guisan & Thuiller, 2005). از مهمترین روش‌های مدل‌سازی مورد استفاده در پیش‌بینی پراکنش پوشش گیاهی می‌توان به مدل تعمیم یافته خطی (McCullagh & Nelder, 1989)، روش تعمیم یافته تجمعی (Yee & Mitchell., 1991) و روش‌های یادگیری ماشینی از قبیل ماشین بردار پشتیبان، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی و شبکه‌های عصبی مصنوعی اشاره کرد (Benito Garozn *et al.*, 2006; Araujo & New, 2007). مطالعات مقایسه‌ای انجام شده نشان می‌دهد که به‌طور کلی به‌دلیل انعطاف‌پذیری در تعیین نوع و درجه ارتباط بین متغیر پاسخ و متغیر پیشگو مدل GAM نسبت به مدل GLM دارای عملکرد بهتری در مدل سازی پراکنش گونه‌های گیاهیست (Austin *et al.*, 2006; Jafarian & Kargar, 2017). مدل CART به‌عنوان یکی از روش‌های درخت پایه و ناپارامتری، توسط بریمن و همکارانش در سال ۱۹۸۴ معرفی شد. این روش موجب تشکیل یک درخت تصمیم با تقسیمات دوتایی می‌گردد (Fürnkranz, 2012). در این روش، رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته یا هدف بدون هرگونه پیش‌فرض در مورد رابطه بین متغیرها مورد سنجش قرار می‌گیرد. در روش CART مدلسازی در سه مرحله اصلی شامل: ۱) تشکیل ریشه درخت، ۲) ساخت درخت توقف و ۳) هرس درخت برای طبقه‌بندی قابل پیاده سازی است (Loh, 2011; Pham *et al.*, 2018). مدل تجمعی تعمیم‌یافته نیز مدلی ناپارامتری که در چهل سال گذشته توسعه پیدا کرده است. این روش به‌دلیل توانایی شناسایی الگوهای متغیر برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل و پاسخ مناسب است (Wieling, 2018). در روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در واقع داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین می‌کنند. علاوه‌براین، توابع خطی به وسیله توابع هموار نامعلوم جانشین می‌شود که دارا بودن هموارسازها یکی از مزایای مهم مدل است و آن را از سایر مدل‌ها متمایز می‌کند.

این مزیت باعث توانایی مدل در شناسایی روابط غیرخطی شده‌است (Jafarian & Kargar, 2017). توان بالای مدل تجمعی تعمیم یافته در شناسایی عوامل مؤثر بر توزیع و تولید نقشه پراکنش محلی گونه *Ferula ovina* نشان داده شده است (Ghazimoradi *et al*., 2016). مقایسه پنج روش مدل‌سازی شامل رگرسیون خطی چند متغیره، درخت رگرسیون و طبقه‌بندی، درخت رگرسیون تقویت شده و شبکه عصبی مصنوعی و مدل جمعی تعمیم یافته برای پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه‌ها در جنگل‌های کوهستانی آنتالیای ترکیه نشان داد که در بین مدل‌ها، مدل جمعی تعمیم یافته دارای عملکرد بهتری است (Aertsen *et al*., 2010). علاوه براین، مقایسه عملکرد رگرسیون لجستیک و روش‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی در مراتع استان قم نشان داد که بین عملکرد مدل و پراکنش گونه‌های مدل‌سازی شده رابطه قوی وجود دارد. بعضی از روش‌ها به‌طور کلی بهتر عمل می‌کنند، اما هیچ روشی در همه شرایط برتر نیست (Piri Sahragard & Zare Chahouki, 2016). استفاده از متغیرهای محیطی با دقّت و صحت مناسب برای ورود به مدل‌های مطلوبیت رویشگاه یکی از چالش‌های پیش‌روی بیشتر پژوهشگران است. واضح است که خطا در جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با متغیرهای محیطی مؤثر، دقّت نتایج هر مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ازاین‌رو استفاده از متغیرهای فیتوژئومورفولوژیکی که بتوانند ارتباط بین عوامل محیطی و اقلیمی و پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی را بهتر شناسایی کنند می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های مرتبط با نمونه-برداری صحرایی، کارایی مدلهای پیش‌بینی پراکنش را نیز افزایش دهد. با توجه به وقوع خشکسالی در سالهای اخیر و زادآوری کم گونه‌های چند ساله خوشخوراک، پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شرایط مطلوبی نداشته و انجام فعالیت‌های احیایی و معرفی گونه‌های سازگار با شرایط منطقه برای بهبود شرایط پوشش‌گیاهی ضروری به نظر می-رسد. بدیهی است که این مهم جز با شناخت عوامل مؤثر در پراکنش هر یک از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه و تعیین دامنه پراکنش مکانی رویشگاه آنها که حاصل خروجی این مدل‌ها هستند، میسر نمی‌شود. هدف این پژوهش بررسی ارزیابی کارایی روش‌های جمعی تعمیم یافته (GAM) و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART) در برآورد پراکنش رویشگاه بالقوه و شناخت نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی با استفاده از اطلاعات مربوط به خصوصیات زمین در منطقه خضری دشت بیاض است.

مواد و روش‌ها

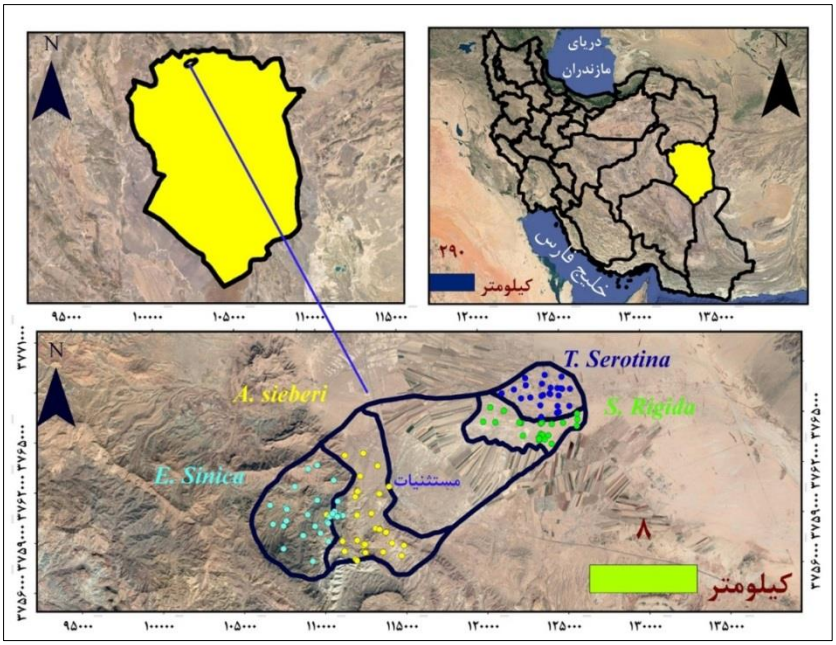
منطقه مورد مطالعه

مراتع خضری دشت بیاض در شمال استان خراسان جنوبی، شهرستان قائنات واقع شده است (شکل ۱). این منطقه با وسعت ۱۴۵۰۰ هکتار در حدود جغرافیایی ″۴۶ ′۴۰ °۵۸ تا ″۵۳ ′۴۷ °۵۸ طول شرقی و ″۰۱ ′۴۶ °۳۲ تا ″۲۸ ′۵۳ °۳۳ عرض شمالی با ارتفاع متوسط حداقل ۱۶۰۰ و حداکثر ۲۰۳۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. مراتع خضری از نظر توپوگرافی دارای کوه‌های تقریبا مرتفع و دشت شوره‌زار بوده که در اقلیم سرد و خشک واقع شده است. متوسط حداکثر درجه حرارت منطقه ۳۳ درجه سانتی-گراد، حداقل درجه حرارت ۴- درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه منطقه در یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۷) ۱۸۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر است (قلی‌پور، ۱۳۹۴). از گونه‌های گیاهی که در این منطقه تشکیل تیپ گیاهی داده‌اند می‌توان به *Ephedra sinica*، *Tamarix serotina*، *Salsola rigida* و *Artemisia sieberi* اشاره کرد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی رویشگاه‌های مورد مطالعه به‌همراه اطلاعات مربوط به خصوصیات پوشش گیاهی در جدولهای شماره ۱ و ۲ ارائه شده است.

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی

به‌منظور انجام نمونه‌برداری از پوشش گیاهی، ابتدا با تلفیق لایه‌های مربوط به شیب، جهت و ارتفاع منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، واحدهای همگن بوم‌شناختی مشخص شد. بر این اساس چهار واحد همگن تعیین و در هر یک از این

واحدها بر اساس سیمای ظاهری، یک رویشگاه برای نمونه-برداری انتخاب شد. در مرحله بعد، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در هر یک از رویشگاه‌ها به روش تصادفی-سیستماتیک انجام شد. استقرار ترانسکت‌ها به نحوی انجام شد که حدود ۱۰ درصد کل هر رویشگاه را دربرگیرد. فاصله بین ترانسکت‌ها با توجه به وضعیت پوشش گیاهی، اندازه گیاهان و تراکم پوشش گیاهی و طول آنها با توجه به سطح هر رویشگاه و تغییرات پوشش گیاهی تعیین شد. برای تعیین اندازه مناسب پلات نمونه‌برداری علاوه بر در نظر گرفتن اندازه تاج پوشش گونه از مطالعات مشابه نیز استفاده شد (Piri Sahrgard & Zare Chahouki, 2016). در نهایت حضور و عدم‌حضور گونه‌های گیاهی از طریق پلات-گذاری در امتداد ترانسکت ثبت گردید (جدول ۳).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان و شهرستان خضری

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی رویشگاه‌های مورد بررسی در مراتع خضری دشت بیاض، خراسان جنوبی

ردیف	رویشگاه	مساحت (هکتار)	واحد اراضی	شیب (درصد)	جهت شیب	ارتفاع از سطح دریا (متر)	اقلیم (دو مارتن)	بارندگی (میلی‌متر)
۱	Ephedra sinica	۳۱۰۰	کوهستان	۵۷ <	شرقی	۱۸۵۶-۲۰۳۰	سرد و خشک	۱۸۰-۲۰۰
۲	Artemisia sieberi	۳۵۰۰	دامنه	۳۳-۵۷	شرقی	۱۵۹۴-۱۸۹۰	سرد و خشک	۱۸۰-۲۰۰
۳	Solsola rigida	۱۵۰۰	دشت	۱۲-۳۳	غربی	۱۴۸۰-۱۴۸۵	سرد و خشک	۱۸۰-۲۰۰
۴	Tamarix serotina	۱۳۰۰	دشت	۱۲>	غربی	۱۴۷۷-۱۴۸۰	سرد و خشک	۱۸۰-۲۰۰

جدول ۲- اطلاعات مربوط به خصوصیات پوشش گیاهی رویشگاه‌های مورد مطالعه در مراتع خضری دشت بیاض، خراسان جنوبی

ردیف	رویشگاه	تاج پوشش (درصد)	سنگ و سنگریزه (درصد)	خاک لخت (درصد)	لاشبرگ (درصد)	وضعیت	گرایش	گونه‌های همراه
۱	E. sinica	۵۵-۶۵	۲۰-۳۰	۵-۱۰	۱۵-۲۰	خوب	پسرونده	*Centaurea cyanus ،Astragalus gossypinus ،Lactuca scariola ،Bromus tectorum*
۲	A. sieberi	۴۰-۵۰	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۱۰-۱۲	متوسط	پسرونده	*Stipa barbata ,،Carex acuta ، Bromus tectorum, Alyssum* sp
۳	S. rigida	۳۰-۳۵	۱۰-۱۵	۲۵-۳۰	۵-۱۰	متوسط	پسرونده	*Alhagi camelorum*
۴	T. serotina	۲۰-۳۰	۱۵-۲۰	۳۰-۴۰	۵-۷	ضعیف	پسرونده	*Alhagi camelorum, Salsola Rigida*

جدول ۳- طول ترانسکت، فاصله، تعداد پلات و سطح پلات نمونه‌برداری مورد استفاده در رویشگاه‌های منطقه مورد مطالعه

ردیف	رویشگاه	طول ترانسکت (متر) (افقی،	تعداد پلات	فاصله بین پلات‌ها (متر)	سطح نمونه‌برداری (مترمربع)
۱	*E. sinica*	۶۰۰ ،۱۵۰	۴۰	۱۵	۳
۲	*A. sieberi*	۶۰۰ ،۱۵۰	۴۰	۱۵	۲
۳	*S. rigida*	۶۰۰ ،۱۵۰	۴۰	۱۵	۲۵
۴	*T. serotina*	۶۰۰ ،۱۵۰	۴۰	۱۵	۲۵

متغیرهای محیطی پیشگو

در این پژوهش مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی شامل خصوصیات زمین، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و شاخص شوری برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات ژئومورفولوژیک و اکولوژیک در بسیاری از چشم‌اندازها به‌ویژه مناطق کوهستانی با یکدیگر ارتباط تنگاتنگ دارد (Band *et al*., 2012). به بیان دیگر، متغیرهای ژئومورفولوژیکی بر بسیاری از متغیرهای محیطی دیگر تأثیر می‌گذارند (Esfandiary & Dallal, 2018). با توجه به این نکات، در این پژوهش از متغیرهای ژئومورفورلوژیکی برای مدل‌سازی استفاده شد. شاخص‌های مورد استفاده از تصویر ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI استخراج شد. این متغیرها با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج شد که قدرت تفکیک مکانی مناسبی برای تحلیل محسوب می‌شود. علاوه‌براین، تصحیحات هندسی به‌روش توابع چندجمله‌ای و تصحیحات اتمسفری نیز به روش کاهش تیرگی پدیده بر روی باندهای مورد استفاده انجام شد. جدول (۴) اطلاعات مربوط به تصویر مورد استفاده را نمایش می‌دهد. خصوصیات زمین نیز شامل شیب، طول شیب، موقعیت نسبی شیب، جهت شیب، سایه روشن، گرادیان شیب پایینی، سطح ویژه حوزه، سطح پایه شبکه کانال‌ها، گودشدگی، شاخص همگرایی، اختلاف خمیدگی، ارتفاع، انحنای طولی، شاخص خیسی، عمق دره و فاصله عمودی به شبکه کانال با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه با بزرگ‌نمایی ۳۰ متر و نرم‌افزارهای SAGA 2.1.4_Win و ArcGIS 10.3 استخراج شد. تمامی متغیرهای محیطی مورد استفاده به‌همراه معادل انگلیسی و تعریف هر یک در جدول (۵) ارائه شده است.

تحلیل هم‌خطی

از آنجا که وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل یکی از دلایل افزایش خطای استاندارد برآورد ضرایب رگرسیونی، کاهش کارایی مدل و در نتیجه پیش‌بینی‌های خارج از دامنه انتظار است، ازاین‌رو نباید بین متغیرهای مستقل رابطه هم‌خطی وجود داشته باشد. با توجه به ضرورت بررسی این شرط مهم، پیش از انجام مدل‌سازی، به‌منظور بررسی وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل، شاخص کمّی عامل تورم

واریانس مورد بررسی قرار گرفت و متغیرهایی با VIF بیشتر از ۱۰ حذف شدند (Zare Chahouki *et al*., 2014)، زیرا متغیرهای با عامل تورم واریانس کمتر از این مقدار مشکل هم-خطی نخواهند داشت (Hastie & Tibshirani, 1990).

جدول ۴- مشخصات تصاویر دریافتی از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا

ردیف	نوع ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ دریافت تصویر	شماره ردیف	شماره گذر	اندازه پیکسل‌ها	پوشش ابر
۱	لندست ۸	OLI	۲۰۱۸/۴/۱۷	۰۳۷	۱۵۷	۳۰ متر	۵

جدول ۵- خصوصیات مربوط به زمین همراه با تعریف (Mirakzehi *et al*., 2015)

ردیف	خصوصیت	تعریف
۱	شیب (Slope)	زاویه بین سطح تماس و سطح افقی در یک نقطه در سطح زمین
۲	طول شیب (Slope length)	فاصله پایین شیب با مسیر جریان آب به بیرون
۳	موقعیت نسبی شیب (Relative slope position)	نشان‌دهنده موقعیت شیب
۴	جهت شیب (Aspect)	بیشترین سرعت تغییر در ارتفاع در هر سلول از DEM
۵	سایه روشن تحلیلی (Analytical hilshading)	میزان نور دریافتی توسط هر سلول نسبت به سلولهای همسایه
۶	گرادیان شیب پایینی (Down slope distance gradient)	گرادیان فاصله پایین شیب
۷	سطح ویژه حوزه (Catchment Area)	منطقه دارای حوضه آبریز
۸	سطح پایه شبکه کانال‌ها (Channel network base level)	سطح پایین شبکه کانال
۹	گودشدگی (Closed depression)	نشان‌دهند فرورفتگی بسته می‌باشد
۱۰	شاخص همگرایی (Convergence Index)	بیانگر اندازه همگرایی و واگرایی جریان
۱۱	اختلاف خمیدگی (Cross- sectional curvature)	نشان‌دهنده انحنای مقطعی
۱۲	ارتفاع (Elevation)	ارتفاع نسبت به سطح دریا
۱۳	انحنای طولی (Longitudinal curvature)	انحنای طولی
۱۴	شاخص خیسی (Topographic wetness index)	پارامتری که توزیع مکانی منطقه اشباع و مقدار آب خاک را در زمین نما بیان می‌کند.
۱۵	عمق دره (Valley depth)	اختلاف عمودی کانال با سطح پایه
۱۶	فاصله عمودی به شبکه کانال‌ها (Vertical distance to channel net worke)	نشان‌دهنده فاصله عمودی به شبکه کانال می‌باشد.
۱۷	شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) (NIR و Red مقادیر انعکاس امواج مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند)	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
۱۸	شاخص شوری تفاضلی نرمال شده (NDSI)	$\frac{Red - NIR}{Red + NIR}$

مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART)

روش CART به‌عنوان یکی از روش‌های مهم در تعیین مهمترین متغیرهای مستقل، حل مسائل دسته‌بندی و پیش-بینی مطرح است. در این روش از داده‌های حضور و عدم-حضور گونه‌ها استفاده شده و ماهیت روش طبقه‌بندی است. در نتیجه نحوه اثر متغیرها بر روی حضور و عدم‌حضور سنجیده می‌شود (Karami & Mirsanjari, 2017). به‌منظور اجرای این مدل، لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی با پیکسل‌های ۳۰ مترمربعی وارد نرم‌افزار R شده و مدل با بهره‌گیری از بسته R rpart اجرا شد. در خروجی این روش مدل‌سازی، بخشی تحت عنوان اهمیّت متغیر وجود دارد که در این بخش اهمیّت متغیرها در طبقه‌بندی رویشگاه گونه به روش حضور و عدم‌حضور نمایش داده می‌شود. در این روش 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 به‌عنوان معیار ارزیابی شاخه‌ها کم کند (Pakgohar, 2016).

مدل جمعی افزایش یافته (GAM)

روش GAM تعمیم‌یافته رگرسیون خطی و رگرسیون منطقی و به‌عنوان یکی از روشهای غیرپارامتریک مطرح است. برای اجرای این مدل از بسته (mgcv) در نرم‌افزار R.3.3.1 استفاده شد. به‌منظور اجرای مدل مذکور تمام متغیرهای رویشگاه وارد تحلیل شدند و بعد با استفاده از روش پس‌رو متغیرهایی که در اجرای مدل تأثیر معناداری نداشتند از مدل حذف شدند تا در پایان مدل با کمترین معیار آکائیکه به‌عنوان مدل نهایی معرفی شد.

حد آستانه و اعتبارسنجی مدل

ارزیابی قدرت مدل در پیش‌بینی حضور و عدم‌حضور گونه به‌وسیله مساحت سطح زیر منحنی (AUC) تابع ROC انجام شد. دامنه این آماره بین ۰ تا ۱ و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده دقّت بیشتر مدل پیش‌بینی است (Swets, 1988). پس از ارزیابی دقّت طبقه‌بندی و تأیید اعتبار مدل، لازم است حد آستانه‌ای تعیین شود تا مشخص گردد که کدامیک از مقادیر پیش‌بینی شده به-عنوان حضور و کدامیک به‌عنوان عدم‌حضور گونه‌ها در نظر گرفته شود (Manel *et al.*, 2001). بدین‌منظور در این پژوهش به‌منظور تعیین حد آستانه بهینه حضور نیز از آماره True Skill Statistic (TSS) استفاده و نقشه پیش‌بینی حضور و غیاب گونه-ها تهیه شد (Freeman & Moisen, 2008). پس از اعمال حدآستانه مذکور بر روی مدل پیش‌بینی به‌منظور اندازه‌گیری دقّت مدل در تمایز نقاط حضور و عدم حضور از شاخص کاپا استفاده شد. این شاخص دارای دامنه تغییر بین صفر تا یک است و مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده توافق کامل بین مناطق پیش‌بینی شده و نقاط حضور است (Monserud & Leemans, 1992).

نتایج

تحلیل هم‌خطی به ازای نقاط حضور هر یک از گونه گیاهی مورد مطالعه انجام شد. به این ترتیب مقادیر متغیرهای محیطی به ازای نقاط حضور هر گونه استخراج و شاخ تورم محاسبه شد. بدیهی است که با توجه به پراکنش نقاط حضور هر گونه در یک محدوده خاص، مقادیر مربوط به متغیرهای رویشگاه برای هر گونه متفاوت از سایر گونه‌هاست. ازاین‌رو ممکن است برخی متغیرهای محیطی برای یک گونه و برخی دیگر برای گونه‌های دیگر دارای شاخص تورم بالا باشد. بنابراین متغیرهای محیطی به‌کاررفته در مدل پیش‌بینی گونه‌های مختلف از یکدیگر متفاوت است (جدول ۶). نتایج مربوط به اهمیّت متغیرهای تأثیرگذار در فرایند مدل‌سازی به‌روش درخت طبقه-بندی و رگرسیون نشان می‌دهد که متغیرهای سطح پایه شبکه کانال‌ها، فاصله عمودی به شبکه کانال و عمق دره که متغیرهای مربوط به خصوصیات زمین هستند با درصد اهمیّت متفاوت در تمام رویشگاه‌ها در پراکنش گونه‌های گیاهی مؤثر هستند (جدول ۷). بر این اساس، در رویشگاه گونه *S. rigida* متغیرهای فاصله عمودی به شبکه کانال‌ها، سطح پایین شبکه کانال و شاخص خیسی بیشترین تأثیر را در مطلوبیت رویشگاه و در نتیجه رخداد این گونه در این رویشگاه دارند. در رویشگاه *T. serotina* نیز متغیرهای عمق دره، سطح پایین

شبکه کانال و موقعیت نسبی شیب به‌ترتیب دارای بیشترین تأثیر هستند. این در حالی است که متغیرهای سطح پایه شبکه کانال و فاصله عمودی به شبکه کانال دارای بیشترین تأثیر در پراکنش رویشگاه گونه *A. sieberi* و در نتیجه حضور گونه در این رویشگاه هستند. در رویشگاه *E. sinica* نیز سطح پایه شبکه کانال و فاصله عمودی به شبکه کانال به‌همراه متغیر شاخص خیسی دارای بیشترین اهمیّت در پراکنش رویشگاه این گونه در منطقه مورد مطالعه هستند. علاوه‌براین، بررسی اهمیّت متغیرها با روش GAM نیز نشان داد که مجموعه‌ای از شاخص‌های مربوط به خصوصیات زمین در پراکنش مکانی رویشگاه هریک از گونه‌های مورد برررسی نقش دارند که با توجه به نیازهای رویشگاهی متفاوت هر یک از گونه‌ها، ترتیب اهمیّت این متغیرها از یکدیگر یا وزن هر یک از متغیرهای مورد بررسی متفاوت خواهد بود (جدول ۸). به‌عبارت دیگر، از آنجا که پس از بررسی شاخص تورم واریانس مشخص شد که متغیرهای محدودی در پراکنش هر گونه گیاهی نقش دارند، ازاین‌رو ترکیب و تعداد متغیرهای معنی‌دار در هر رویشگاه از یکدیگر متفاوت است و متغیرهای ذکر شده دارای بیشترین تأثیر در پراکنش گونه‌های مورد بررسی هستند.

جدول ۶- متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی پس از اندازه‌گیری شاخص تورم واریانس

ردیف	گونه‌های گیاهی			
	S.rigida	*T. serotina*	*A. sieberi*	*E. sinica*
۱	Vertical	Valley_Dep	Channel	Channel
۲	Channel	Channel	Vertical	Vertical
۳	TWI	Relative_S	Analytical	TWI
۴	Valley_Dep	Cross_Sect	Valley_Dep	Analytical
۵	Aspect	TWI	TWI	Valley_Dep
۶	Relative_S	Vertical	Longitudin	Cross_Sect
۷	Indivii	Analytical	indivii	-
۸	Analytical	Longitudin	ndsii	-
۹	Longitudin	Catchment	s	-
۱۰	Cross_Sect	Convergenc	-	-
۱۱	Convergenc	-	-	-

جدول ۷- درصد اهمیت متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی در مدل CART

متغیر	*S. rigida*	*T. serotina*	*A. sieberi*	*E. sinica*
فاصله عمودی به شبکه کانال	۲۲	۷	۱۷	۱۶
سطح پایه شبکه کانال	۱۶	۲۱	۲۷	۳۱
شاخص خیسی	۱۳	۷	۹	۱۵
عمق دره	۱۱	۳۴	۱۲	۱۴
جهت شیب	۸	–	–	–
موقعیت نسبی شیب	۷	۱۵	–	–
شاخص تراکم پوشش	۶	–	۵	–
شاخص شوری	–	–	۵	–
اختلاف جزئی شیب	۶	۴	۱۲	۱۴
انحنای طولی	۵	۳	۷	–
اختلاف خمیدگی	۴	۷	–	۱۰
شاخص همگرایی	۳	۱	–	–
سطح ویژه حوزه	-	۱	–	–
شیب	–	–	۵	–

اعتبارسنجی مدلهای پیش‌بینی

نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده نشان می‌دهد که در مدل CART بالاترین مقدار سطح زیرمنحنی، به‌عنوان یک معیار مستقل از حد آستانه، به مدل گونه *S. rigida* اختصاص دارد که مقدار این آماره به‌ترتیب برای داده‌های آزمون و آموزش برابر ۰/۸۴ و۰/۹۱ محاسبه شده است. این در حالی است که کمترین مقدار اندازه‌گیری شده سطح زیرمنحنی نیز مربوط به مدل گونه *A. sieberi* است (۰/۸۷). در روش GAM نتایج نشان داد که بالاترین و کمترین مقدار سطح زیر منحنی به‌ترتیب مربوط به گونه *E. sinica* و گونه *T. serotina* است (به‌ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۷۹). علاوه‌براین، ارزیابی دقّت مدل‌های پیش‌بینی پس از اعمال حد آستانه، با استفاده از شاخص کاپا نیز نشان داد که بیشترین شاخص توافق در مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون به مدل پیش‌بینی گونه *E. sinica* اختصاص دارد (۰/۸۲). در حالی که مقدار این شاخص برای گونه *T. serotina* کمترین مقدار را دارد (۰/۷۹). در مجموع تمام مدل‌های مورد استفاده بجز گونه *T. serotina* دارای شاخص کاپای بالای ۰/۸ هستند. اما در روش GAM پس از اعمال حد آستانه، بیشترین مقدار شاخص کاپا به مدل پیش‌بینی گونه *T. serotina* و کمترین مقدار آن نیز به مدل پیش‌بینی گونه *S. rigida* اختصاص دارد (به‌ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹). مقدار حد آستانه هر یک از مدل‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد که با افزایش حد آستانه در مدل‌های GAM، مقدار شاخص کاپا یا توانایی مدل در افتراق حضور و عدم حضور گونه افزایش یافته است. به‌بیان دیگر می‌توان گفت که در مجموع مدلهای GAM در مقایسه با مدلهای CART از توانایی بالاتری در تشخیص حضور و عدم‌حضور گونه برخوردارند (جدول ۹).

جدول ۸- درصد اهمیت متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی در مدل GAM

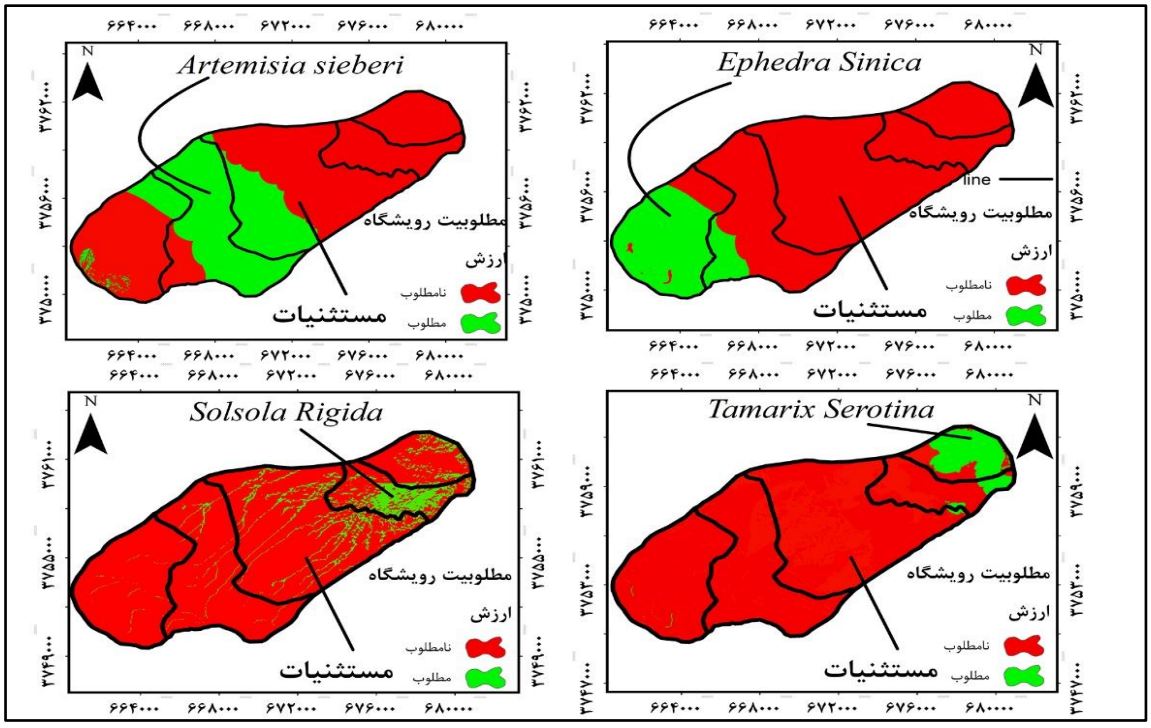
		متغیر محیطی	P-value	معیار آکائیکه
گونه گیاهی	S. rigida	اختلاف خمیدگی	۰/۰۰۰۰	۱۷۱/۰۱
		عمق دره	۰/۰۰۰۰	
		سطح پایین شبکه کانال	۰/۰۰۰۰	
		سطح ویژه حوزه	۰/۰۰۰۰	
	T. serotina	عمق دره	۰/۰۰۰۰	۱۵۰/۲
		فاصله عمود به شبکه کانال	۰/۰۰۰۰	
		اختلاف خمیدگی	۰/۰۰۰۰	
		سطح ویژه حوزه	۰/۰۰۰۰	
	A. sieberi	انحنای طولی	۰/۰۰۰۰	۱۲۲/۰۲
		شاخص همگرایی	۰/۰۰۰۰	
		فاصله عمود به شبکه کانال ها	۰/۰۰۰۰	
		عمق دره	۰/۰۰۰۰	
		سطح ویژه حوزه	۰/۰۰۰۰	
	E. sinica	انحنای طولی	۰/۰۰۰۰	۱۴۳/۵
		شاخص پوشش گیاهی	۰/۰۰۰۰	
		اختلاف خمیدگی	۰/۰۰۰۰	
		شاخص همگرایی	۰/۰۰۰۰	
		فاصله عمودی به شبکه کانال ها	۰/۰۰۰۰	
		عمق دره	۰/۰۰۰۰	
		سطح پایه شبکه کانال ها	۰/۰۰۰۰	

نقشه پیش‌بینی پراکنش بالقوه رویشگاه گونه‌ها

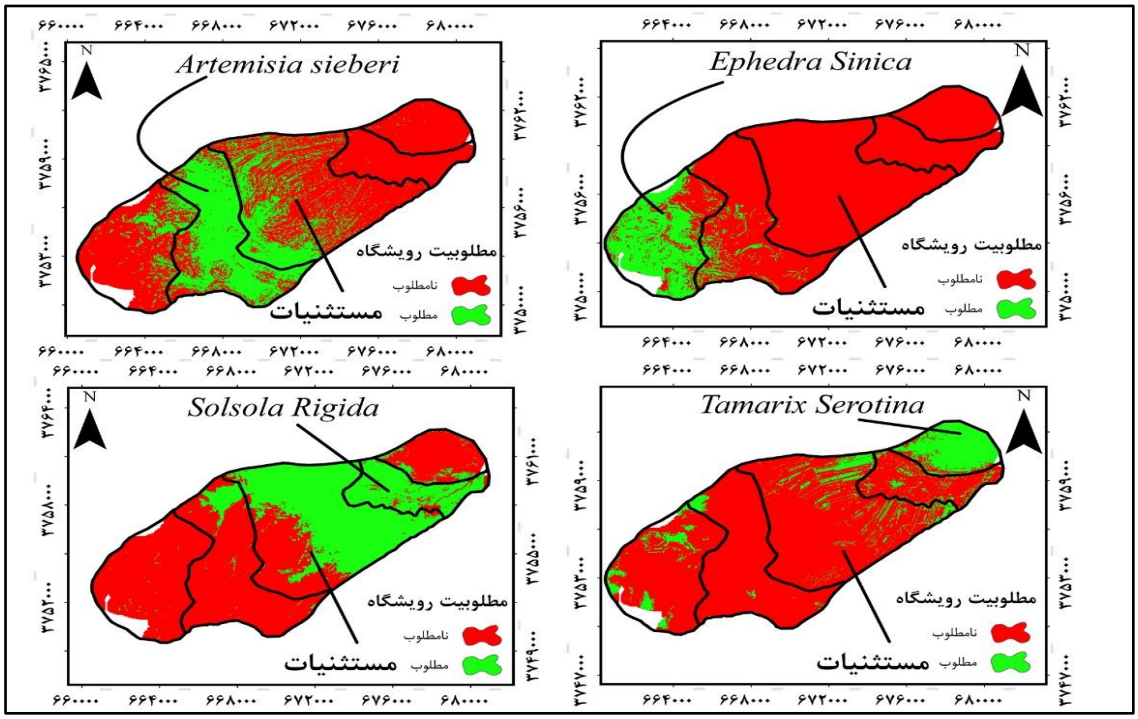
نقشه پیش‌بینی پراکنش بالقوه رویشگاه گونه‌های مورد بررسی حاصل از روش‌های CART و GAM پس از اعمال حد آستانه در شکل‌های شماره ۲ و ۳ ارائه شده است. در این نقشه‌ها بخش‌های قرمز رنگ محدوده نامطلوب برای استقرار گونه و بخش‌های سبز رنگ حدود رویشگاه مطلوب را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه‌های نهایی انتشار بالقوه گونه حاصل از روش CART، بیشترین و کمترین وسعت رویشگاه مطلوب به‌ترتیب به گونه *A.sieberi* و *T. serotina* تعلق دارد، در حالی‌که در نقشه‌های حاصل از مدل GAM، بیشترین و کمترین وسعت رویشگاه مطلوب به گونه‌های *S. rigida* و *T. serotina* اختصاص دارد (جدول ۱۰).

جدول ۹- معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی رویشگاه گونه‌های گیاهی در مراتع خضری دشت بیاض

گونه گیاهی	مدل	معیارهای ارزیابی عملکرد مدل			
		TSS	KAPPA	AUC(Test)	AUC(Train)
S. rigida	CART	۰/۲۳۱	۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۹۱
	GAM	۰/۶۲۰	۰/۹۰	۰/۷۵	۰/۸۷
A. sieberi	CART	۰/۷۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۸۷
	GAM	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۹۲
T. serotina	CART	۰/۲۸۶	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۹۰
	GAM	۰/۷۰	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۷۹
E. sinica	CART	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۸۴
	GAM	۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۷۹	۰/۹۶



شکل ۲- نقشه برآورد پراکنش بالقوه رویشگاه گونه‌های گیاهی به روش CART در مراتع خضری دشت بیاض



شکل ۳- نقشه برآورد پراکنش بالقوه رویشگاه گونه‌های گیاهی به روش GAM در مراتع خضری دشت بیاض

بحث

نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش بالقوه حاصل از مدلهای CART و GAM بیانگر آن است که قسمت‌های مرکزی و جنوب‌غربی منطقه مورد بررسی از قابلیت بالاتری برای استقرار رویشگاه گونه‌های *A. sieberi* و *E. sinica* برخوردار است. این در حالی است که در مورد گونه‌های *S. rigida* و *T. serotina* به‌دلیل اینکه قسمت‌های شمال و شمال‌غربی مراتع خضری نیازمندی‌های بوم‌شناختی این گونه‌ها را تأمین می‌نمایند، ازاین‌رو این مناطق به‌طور بالقوه از شایستگی بیشتری برای استقرار این گونه‌ها برخوردارند. از سوی دیگر، هم در مدل CART و هم در مدل GAM کمترین وسعت رویشگاه بالقوه به گونه *T. serotine* اختصاص دارد که این یافته با محدودیت نیازهای بوم شناختی این گونه همخوانی دارد. گزارش شده است که بین حضور این گونه با هدایت الکتریکی خاک رابطه تنگاتنگی وجود دارد و این گونه عمدتاً در مناطقی با خاک شور استقرار می‌یابد (Zare Chahouki & Piri Sahragard, 2016). البته این یافته با مشاهدات میدانی در رویشگاه واقعی این گونه نیز مطابقت دارد. علاوه‌براین یافته، نتایج بیانگر آن است که گونه‌های *A.sieberi* و *S. rigida* گونه هایی هستند که بر اساس مدلهای پیش‌بینی حاصل از بیشترین قابلیت انتشار در مراتع خضری دشت بیاض برخوردارند. همسو با یافته این پژوهش، گستردگی آشیان بوم‌شناختی گونه *A.sieberi* در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Hosseini *et al*., 2013; Piri Sahragard & Ajorlo, 2017). بر اساس مقادیر شاخص کاپا، مدل GAM در مقایسه با مدل CART از عملکرد پیش‌بینی بهتری برخوردار است، به گونه‌ای که مقدار این شاخص برای تمامی رویشگاه‌ها بالاتر از ۰/۹ است. این نتایج نشان می دهد که این روش توانسته است با شناخت دقیق از شکل رابطه بین متغیرهای مورد بررسی و پراکنش گونه، همچنین وزن هر یک از این متغیرها، برآورد دقیق‌تری از پراکنش رویشگاه بالقوه گونه ارائه نماید. در واقع در این روش بر خلاف سایر روش‌های رگرسیون خطی، به‌دلیل داده‌محور بودن روش، داده‌های در دسترس شکل منحنی پاسخ را تعیین کرده و پارامترهای مدل بر اساس ساختار داده‌ها تعیین

می‌شود. علاوه‌براین، وجود توابع هموارساز در این روش نیز سبب افزایش توانایی مدل در شناخت روابط غیرخطی می‌شود که مجموعه این ویژگی‌ها منجر به افزایش توانایی این روش در شناخت رابطه بین متغیرهای محیطی و پراکنش گونه‌ها و در نتیجه عملکرد پیش‌بینی دقیق‌تر این روش می‌شود (Salehi *et al*., 2012). به‌بیان دیگر، روش GAM به‌دلیل داده‌محور بودن روش و نداشتن پیش‌فرض راجع به شکل منحنی پاسخ، قابلیت کشف روابط غیرخطی و غیریکنواخت بین متغیر پاسخ و مجموعه متغیرهای پیشگو و افزایش کیفیت پیش‌بینی متغیر پاسخ، همین طور ارائه اشکال مختلف منحنی‌های واکنش گونه به متغیرهای محیطی، می‌تواند با افزایش درک ما از سیستم‌های زیست‌محیطی موجب توسعه استفاده از این مدلها در برنامه‌ریزی مدیریت پوشش گیاهی شود (Hastie &Tibshirani, 1990; Miller & Franklin 2002;). در راستای یافته این پژوهش گزارش شده است که روش GAM در مقیاس‌های محلی و خرده مقیاس‌ها از قابلیت بالایی در شناخت مناطق مستعد برای استقرار گونه‌های پیشنهادی برای اصلاح پوشش گیاهی یک منطقه برخوردار است (Jafarian & Kargar, 2017). برتری عملکرد روش GAM بر روش‌های یادگیری ماشین همانند CART، در مطالعات مرتبط با پیش‌بینی رویشگاه گونه‌ها نیز گزارش شده است (Freeman & Moisen, 2008; Aertsen *et al*., 2010). در مقابل، وجود برخی محدودیت ها در روش CART از قبیل مستعد بودن به بیش‌برازش و نشان دادن واریانس بالا ناشی از تغییرات ناچیز در داده‌ها می‌تواند علاوه بر ایجاد مشکل در تفسیر نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از این روش را با محدودیت مواجه کند (Sutton, 2005). علاوه بر موارد ذکر شده در مورد عملکرد پیش‌بینی مدل، بررسی حدود آستانه بهینه به‌عنوان یک شاخص متأثر از کیفیت مدل نشان می‌دهد که به‌طور کلی مقادیر حد آستانه مدلهای پیش‌بینی GAM از مدلهای CART بیشتر است که این امر افزایش حساسیت مدل‌های GAM یا افزایش نسبت حضورهایی را که توسط مدل به درستی پیش‌بینی شده‌اند به‌همراه داشته است. از آنجا که در این پژوهش با توجه به هدف، باید نسبت حضورهایی که به اشتباه پیش‌بینی شده به حداقل ممکن برسد، ازاین‌رو بالا بودن حساسیّت مدل از اهمیّت بیشتری برخوردار است (Fielding & Bell, 1997). به‌عبارت دیگر، مدلهای پیش‌بینی GAM به‌دلیل داشتن مقادیر بالاتر حساسیّت در مقایسه با مدلهای CART از قابلیت بیشتری در برآورد پراکنش مکانی رویشگاه بالقوه گونه‌های مورد بررسی برخوردار است. این یافته نیز عملکرد بهتر روش GAM را در مقایسه با روش CART مورد تأیید قرار می‌دهد. همسو با یافته این پژوهش، گزارش شده است در مواقعی که هدف از مدل‌سازی پیش‌بینی نقاط پراکنش یک گونه است، لازم است که نقشه‌ای با حساسیّت ۹۹ درصد تهیه شود. به‌عبارت دیگر نقطه‌ای به‌عنوان سطح آستانه در نظر گرفته شود که در آن نقطه، حساسیّت مدل حداکثر است (Fielding & Bell, 1997; Miller & Franklin, 2002; Freeman & Moisen, 2008). با استناد به نتایج حاصل از تحلیل اهمیت متغیرهای پیشگو، در نظر داشتن موقعیت مکانی هر رویشگاه و نیازهای بوم‌شناختی متفاوت هر یک از گونه‌های گیاهی، در رویشگاه‌های مختلف ترکیب‌های متفاوتی از خصوصیات زمین در پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی یا به‌عبارتی در مطلوبیت رویشگاه برای استقرار گونه تأثیرگذار هستند. از مهمترین این متغیرها می‌توان به متغیرهای سطح پایه شبکه کانال‌ها، فاصله عمودی به شبکه کانال و عمق دره، شاخص خیسی و موقعیت نسبی شیب اشاره کرد که با درصد اهمیّت متفاوت در پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی مؤثر هستند. تأثیر ارتفاع و خصوصیات مرتبط با آن مانند شاخص خیسی، عمق دره، شیب و جهت شیب و موقعیت نسبی شیب در پراکنش گونه‌های گیاهی در مطالعات متعددی مورد تأکید قرار گرفته است (Piri Sahragard & Ajorlo, 2017; Ebrahimi *et al*., 2015). عوامل مرتبط با توپوگرافی مانند ارتفاع، شیب و سطح پایه شبکه کانال‌ها به‌عنوان گرادیان‌های محیطی غیرمستقیم می‌توانند از طریق تأثیر بر خصوصیات خاک مانند عمق خاک، ایجاد تغییر در دریافت انرژی و توزیع آب و دیگر خصوصیات توپوگرافیک در

تغییر ویژگی‌های خاک و در نهایت بر پراکنش گیاهان تأثیرگذار باشند (Nodehi *et al.*, 2014). بررسی رابطه بین خصوصیات توپوگرافی و پراکنش پوشش گیاهی نشان می دهد که خصوصیات توپوگرافیک به‌دلیل تأثیر بر شاخص خیسی خاک و به‌تبع آن تأثیر بر شوری و بافت خاک توزیع مکانی پوشش گیاهی را کنترل می‌کند (Luca *et al.*, 2007). در همین راستا، گزارش شده است که جهت شیب نیز به دلیل تأثیر بر اقلیم محلی، پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tavakoli Neko *et al.*, 2012). در این پژوهش طیف وسیعی از متغیرهای ژئومورفولوژی با قدرت تفکیک مکانی بالا وارد فرایند مدل‌سازی شدند و نتایج هر دو مدل مورد استفاده از نظر دقّت پیش‌بینی قابل توجه بود (شاخص کاپای بالاتر از ۰/۸ برای همه گونه‌های مورد بررسی). هر چند روش GAM در مجموع از نظر عملکرد پیش‌بینی بر روش CART برتری داشت. از سوی دیگر، نتایج مربوط به دقّت پیش‌بینی مدل‌ها نشان داد که متغیرهای ژئومورفولوژیکی مورد استفاده نه تنها به‌عنوان متغیرهای کمکی دارای قابلیت بسیار مناسبی برای حضور در کنار سایر متغیرهای رویشگاهی برای پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی هستند، بلکه می‌توانند در صورتی که از منابع معتبر و دقیق استخراج شوند به‌عنوان جایگزین دیگر متغیرهای محیطی، در مدلسازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی مناطق کوهستانی مورد استفاده مدیران مرتع قرار گیرند. بر این اساس، به‌دلیل عملکرد بهتر روش GAM در شناخت دقیق از نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی و در نتیجه برآورد صحیح حدود پراکنش رویشگاه گونه‌ها با استفاده از این متغیرها، کاربرد این روش در سیستم‌های پشتیبان مدیریتی در مقیاس محلی توصیه می‌شود. علاوه‌براین، یکی از نکات قابل توجه حاصل از کاربرد مدل‌های مورد استفاده این است که هم در مدل CART و هم در مدل GAM کمترین وسعت رویشگاه بالقوه به گونه *T. serotina* اختصاص دارد، در حالی که گونه‌های *A.sieberi* و *S. rigida* گونه‌هایی هستند که از بیشترین قابلیت انتشار در مراتع خضری دشت بیاض برخوردارند. البته توجه به این یافته مهم در برنامه توسعه پوشش گیاهی در مراتع این منطقه ضروریست. در مجموع با توجه به شناخت مناطق مستعد برای پراکنش رویشگاه بالقوه گونه های مورد بررسی در این پژوهش و عدم حضور گونه‌ها در این مناطق، مطالعه عامل یا عوامل محدودکننده پراکنش فعلی گونه‌ها در پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل (شماره گرنت: UOZ.GR.9618-83) انجام شده است، بدین‌وسیله از معاون محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه زابل سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Aertsen, W., Kint, J. V. and Muys, B., 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. Journal of Ecological Modelling, 221: 1119-1130.
- Araujo, M. B. and New, M., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. Journal of Trends in Ecology and Evolution, 22: 42-47.
- Austin, M. P., Belbin, L., Meyers, J. A., Doherty, M. D. and Luoto, M., 2006. Evaluation of statistical models used for predicting plant species distributions: role of artificial data and theory. Journal of Ecological Modelling, 199:197-216.
- Band, L.E., Hwang, T., Hales, T.C., Vose, J. and Ford, C., 2012. Ecosystem processes at the watershed scale: Mapping and modeling ecohydrological controls of landslides. Journal of Geomorphology, 137: 159-167.
- Benito Garozn, M., Blazek, R., Neteler, M., Sanchez de Dios, R., Sainz Ollero, H. and Furlanello, C., 2006. Predicting habitat suitability with machine learning models: The potential area of *Pinus sylvestris* L. in the Iberian Peninsula. Journal of Ecological Modelling, 197: 383-393.
- Ebrahimi, M., Masoodipour, A. and Rigi, M., 2015. Role of soil and topographic features in distribution of plant species (Case study: Sanib Taftan watershed). Journal of Ecopersia, 3: 917-932.
- Esfandiary, F. and Dallal, O.A., 2018. Study the role of geomorphologic parameters in distribution of vegetation cover using spatial regression analysis (Case study, Arsbaran catchments: naposhtehcay, ilghinehcay and mardanqumcay). Journal of

Journal, 46: 117- 132.
– Karami, P. and Mirsanjari, M., 2017. Modeling and identification of effective factors on the establishment of ecotourism in Javanrud County by using classification tree. Journal of Sustainability. Journal of Development and Environment, 4 (2):61-74.
– Kargar, M., Jafarian, Z., Tamartash, R. and Alavi, S.J., 2017. Comparison of non-parametric and parametric species distribution models (SDM) in determining the habitat of dominant rangeland species (Case study: Khetteh Riz Rangelands). Iranian Journal of Range and Desert Research, 25 (3): 512-523.
– Khalasi Ahvazi, L., Zare Chahouki, M. A. and Ghorbannezhad, F., 2012. Comparing discriminant analysis, ecological niche factor analysis and logistic regression methods for geographic distribution modelling of *Eurotia ceratoides* (L.) C. A. *Mey*. Journal of Rangeland Science, 3(1): 45-57.
– Loh, W.Y., 2011. Classification and regression trees. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 1(1): 14-23.
– Luca, C., Si, B.C. and Farrell, R.E., 2007. Upslope length improves spatial estimation of soil organic carbon content. Canada Journal of Soil Science, (87) 1: 291-300.
– Manel, S., Williams, H.C. and Ormerod, S.J., 2001. Evaluating presences-absence models in ecology: the need to account for prevalence. Journal of Applied Ecology, 38: 921-931.
– McCullagh, P. and Nelder, J. A., 1989. Generalized Linear Models, Monographs on Statistics and Applied Probability, 2 edn, Chapman and Hall, London.
– Miller, J. and Franklin, J., 2002. Modeling the distribution of four vegetation alliances using generalized linear models and classification trees with spatial dependence. Journal of Ecological modeling, 157(2-3): 227-247.
– Mirakzehi, K. H., Shahriyari, L., Pahlavan Rad, M. R. and Bameri, A., 2015. Application random forest method in prediction of soil classes in low elevation (Case study: Hirmand Region). Journal of Soil and water conservation Research, 4(1): 69.
– Monserud, R. A. and Leemans, R., 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. Journal of Ecological Modelling, 62: 275-293.
– Mossivand, A. M., Ghorbani, A., Zare Chahoki, M. A., Keivan Behjou, F. and Sefidi, k., 2018. Environmental factors affecting the distribution of Prangos uloptera in rangelands of Ardabil Province. Iranian Journal of Range and Desert Research, 24 (4): 792-804.

Geographic space,18 (63):225 -248.
– Esfanjani, J., Zare Chahouki, M. A., Rouhani, H., Esmaeili, M. M. and Behmanesh, B., 2017. Suitibility habitat modeling species using Ecological Niche Factor Analysis (ENFA) in rangelands Chaharbagh of Golestan province, Iran. Iranian Journal of Range and Desert Research. 23(3): 516-526.
– Fielding, A. H. and Bell, J. F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Journal of Environmental Conservation, 24: 38-49.
– Franklin, J., 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
– Freeman, E. A. and Moisen, G. G., 2008. A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. Journal of Ecological Modeling, 217: 48-58.
– Fürnkranz, J., Gamberger, D. and Lavrač, N., 2012. Foundations of rule learning. Springer Science & Business Media, 233 p.
– Ghazimoradi , M., Tarkesh, M., Bashari, H. and Vahabi, M. R., 2016. Determining the potential habitat of *Ferula ovina* (Boiss) using generalized additive model in Fereidonshahr rangelands, Isfahan. Journal of Range and Watershed Management, 69(3): 677-689.
– Guisan, A. and Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Journal of Ecology Letters, 8(9): 993-1009.
– Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis., Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A.I., Regan, T. J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C. and Martin, T. G., 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. Journal of Ecology letters, 16(12): 1424-1435.
– Hastie, T. and Tibshirani, R., 1990. Exploring the nature of covariate effects in the proportional hazards model. Journal of Biometrics, 1005-1016.
– Hosseini, S. Z., Kappas M., Zare Chahouki M. A., Gerold G., Erasmi S. and 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. Journal of Ecological Informatics, 18: 61-68.
– Jafarian, Z. and Kargar, M., 2017. Distribution modeling of protective and valuable plant species in the tourist area of Polour using generalized linear model (GLM) and generalized additive model (GAM). Geography and Development Iranian

- Nodehi, N., Akbarlou, M., Sepehry, A. and Vahid, H., 2014. Effects of topographical factors on distribution of plant communities in semi-steppe grasslands (Case study: Ghorkhud Region, Northern Khorasan Province, Iran). Journal of Rangeland Science, 4(4): 298-305.
- Pakgohar, A., 2016. Performance comparison of logistic regression and classification regression tree models for binary dependent variable. Journal of Statistical Sciences Extension, 1(2): 7-14.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. and Araújo, M. B., 2011. Ecological niches and geographic distributions (MPB-49). Princeton University Press.
- Pham, H., Guan, M. Y., Zoph, B., Le, Q. V. and Dean, J., 2018. Efficient neural architecture search via parameter sharing. arXiv preprint:1802.03268.
- Piri Sahragard, H. and Ajorlo, M., 2017. A comparison of logistic regression and maximum entropy for distribution modeling of range plant species (a case study in rangelands of western Taftan, southeastern Iran). Turkish Journal of Botany, 41: 1-10.
- Piri Sahragard, H. and Piri, J., 2016. An estimation of spatial distribution domain of plant species using artificial neural networks in west rangelands of Taftan. Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ), 12 (5): 23-36.
- Piri Sahragard, H. and Zare Chahouki, M.A., 2016. Comparison of logistic regression and machine learning techniques in prediction of habitat distribution of plant species. Range Management and Agroforestry, 37 (1): 21-26.
- Salehi, M., Vazirinasab, H., Khoshgam, M. and Rafati, N., 2012. Application of the generalized additive model in determination of the retinopathy risk factors relation types for Tehran diabetic patients. Razi Journal of Medical Sciences, 19(97): 1-9.
- Sauer, T. and Ries, J. B., 2008. Vegetation cover and geomorpho dynamics on abandoned fields in the central Ebro Basin (Spain). Journal of Geomorphology, 102(2): 267-277.
- Sutton, C.D., 2005. Classification and regression trees, bagging, and boosting. In: Rao C R, Wegman E J, Solka JL (eds) Handbook of statistics: data mining and data visualization, 24. Elsevier, Amsterdam.
- Swets, J.A., 1988. Measuring the accuracy of a diagnostic systems. Journal of Science, 240, 1285-1293.
- Tarkesh, M. and Jetshcke, G., 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. Journal of Environmental and Ecological statistics, 19(3): 437-457.
- Tavakoli Neko, H., Pourmeydani, A., Adnani, S. M., and Sagheb-Talebi, K.H., 2012. Impact of some important ecological factors on presence of mountain Almond (*Amygdalus scoparia* Spach.) in Qom province, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19 (4): 523-542.
- Wieling, M., 2018. Analyzing dynamic phonetic data using generalized additive mixed modeling: a tutorial focusing on articulatory differences between L1 and L2 speakers of English. Journal of Phonetics, 70: 86-116.
- Yee, T.W. and Mitchell, N.D., 1991. Generalized additive models in plant ecology. Journal of Vegetation Science, 2: 587-602.
- Zare Chahouki, M. A., Khalasi Ahvazi, L. and Azarnivand, H., 2014. Plant species distribution modeling using logistic regression models in the north east of Semnan. Journal of Range and Watershed Management, 67(1): 45-59.
- Zare Chahouki, M. A. and Piri Sahragard, H., 2016. Maxent modelling for distribution of plant species habitats of rangelands (Iran). Polish journal of ecology, 64 (4): 453-467.

Application of generalized additive model (GAM) and classification and regression tree (CART) to estimate the potential habitat distribution of rangeland plant species (Case study: Khazri Rangelands of Beyaz Plain, Southern Khorasan)

M. Keyghobadi [1], H. Piri Sahragard[2*], M. R. Pahlavan- Rad[3], P. Karami[4] and R. Yari[5]

1-Former M.Sc. Student in Range Management, Department of Rangeland and Watershed Management, Soil and Water Research Department, Zabol University,

2*-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Soil and Water Research Department, Zabol University, Iran, Email: hopiry@uoz.ac.ir

3- Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

4- Ph. D. Student, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and the Environment Sciences, Malayer University, Malayer, Iran

5- Assistant Professor, rangeland science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 02/24/2020 Accepted: 05/10/2020

Abstract

Species distribution models (SDMs) are the basis of informed decisions in vegetation management by quantifying the relationship between species distribution and influential environmental variables. The present study aimed to evaluate the GAM and CART models' performance in estimating the potential habitat distribution as well as recognizing the ecological needs of plant species in the Khezri rangelands of Bayaz plain of southern Khorasan. According to the regional condition and field observation, in an area of about 14500 hectares, vegetation sampling was done using the randomized-systematic method. Eighteen environmental variables including land characteristics, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and salinity index were used as an estimator to generate maps of predictor variables. After modeling the habitat distribution prediction using CART and GAM methods in R 3.5.2 software, the accuracy of the models was assessed using the subsurface area (AUC) statistics. After determining the threshold by the TSS method, the continuous utility map was converted to the presence/absence map and the degree of conformity of the maps with the kappa index was calculated. Based on the results of the used models, the variables of the base level of the channels network, the vertical distance to the channels network, the depth of the valley, the wetness index, and the relative position of the slope are effective in habitat suitability for species establishment. In general, the GAM method has high accuracy in estimating the habitat distribution range of all species studied (Kappa≥ 0.9). According to the maps obtained from the GAM model, the highest and lowest potential habitats belong to *S. rigida* and *T. serotina* species. Therefore, the GAM method can be useful in accurately identifying the ecological needs of plant species and therefore their distribution useful at the local scale. As a result, it is suggested that this method be used as part of a management support system in the protection and restoration of vegetation in the rangelands of the Bayaz plain.

Keywords: Rangeland, potential habitat, GAM, CART, Khezri rangelands.