

مقایسه مدل‌های جنگل تصادفی (RF) و درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) در پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی در مراتع پلور، مازندران

زینب جعفریان^{۱*} و منصوره کارگر^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵)

چکیده

برای انجام این تحقیق، مراتع پلور در استان مازندران با مساحت حدود ۲۰۱۷ هکتار انتخاب شد. هدف پژوهش پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی (RF) و درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) در منطقه مورد مطالعه بود. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و خاک به صورت تصادفی - مساوی انجام شد. ۱۲ واحد کاری در منطقه به دست آمد که در هر واحد نمونه‌برداری عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خاکی اندازه‌گیری شدند. پنج گونه غالب در منطقه *Thymus*، *Ferula gumosa*، *Astragalus ochrodeucus*، *Agropyron repens* و *Onobrychis cornata* Kotschyanus در بسته (caret) استفاده گردید. همچنین برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل از ضرایب آماری AUC، Kappa و TSS استفاده شد. نتایج نشان داد که در مدل RF متغیرهای پتاسیم و آهن بیشترین اهمیت را در حضور گونه‌های گیاهی داشتند. در مدل BRT نیز سیلت و جهت بیشترین اهمیت را در مدل داشتند. نتایج حاصل از عملکرد مدل‌های BRT و RF نشان داد که بالاترین AUC در مدل BRT مربوط به حضور گونه *Agropyron repens* به میزان ۰/۷۶ و در مدل RF مربوط به گونه *Onobrychis cornata* بوده است. از مدل‌های پیشنهادی می‌توان برای معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتعی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: عوامل محیطی، مدل‌های پیش‌بینی، مراتع پلور، پراکنش مکانی

۱. گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.jafarian@sanru.ac.ir

مقدمه

با پردازش داده‌های محیطی و داده‌های حضور و غیاب با استفاده از روش‌های مختلف آماری می‌توان احتمال رخداد گونه‌ها را محاسبه کرد و به مدیران منابع طبیعی کمک می‌کند تا با اختصاص زمان و هزینه کمتر، به شناسایی عوامل تهدید کننده جمعیت‌ها (۱۰ و ۱۷)، فاکتورهای مهم در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی، تعیین تأثیر اقلیم بر پراکنش جغرافیای گونه‌های گیاهی، رویشگاه‌های مطلوب گونه‌های گیاهی و جانوری، ارائه فرضیه‌های جدید در ایجاد الگوهای تنوع زیستی بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی طرح‌های مبارزه بیولوژیک با فرسایش و مناطق با اهمیت حفاظتی پردازند (۲۳، ۲۶ و ۲۹). خصوصیات کمی گونه‌های گیاهی تحت تأثیر روش اندازه‌گیری، عوامل درون گونه‌ای و بین گونه‌ای قرار می‌گیرد، بنابراین برای تعیین رابطه گونه گیاهی و عوامل محیطی، بهتر است از حضور و عدم حضور گونه‌های گیاهی استفاده شود. ظهور هر گونه گیاهی تحت تأثیر عوامل محیطی و روابط بین گونه‌ای است. اگر به طریقی بتوان مؤثرترین عوامل را برای هر گونه گیاهی تعیین کرد و رفتار گونه را با متغیرهای محیطی و گونه‌های همراه بررسی نمود، می‌توان به مدل‌های پیش‌بینی توزیع گونه‌ای دست یافت. مؤثرترین عوامل محیطی شامل عوامل اقلیمی (بارندگی، رطوبت نسبی، درجه حرارت و غیره)، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (بافت، ساختمان و غیره) و عوامل توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) هستند. در مطالعه‌ای رابطه بین متغیرهای توپوگرافی، شیب، نور، برف و پتانسیل اشباع خاک را با چهار گونه گیاهی در پارکی در شرق گلاسیر پرتغال با استفاده از مدل‌های GLM (General Linear Model) و (Generalized Additive Model) بررسی شد. نتایج بیانگر این مطلب بود که مؤثرترین عامل بر توزیع گونه‌های مورد مطالعه متغیر توپوگرافی است (۱۶). در تحقیقی دیگر روش‌های مدل‌سازی برای رویشگاه بیش از ۲۲۶ گونه گیاهی در ۶ منطقه جهان شامل نیوزیلند، کانادا، آمریکا، ولز، استرالیا و سوئیس مقایسه شدند تا روش جامعی را ارائه دهند. این محققان بیان کردند که با در نظر گرفتن اطلاعات حضور گونه‌های گیاهی و شناخت عوامل مؤثر در پراکنش گونه‌ها و استفاده از مدل‌هایی نظیر

GLM و GAM و CART (Classification and Regression Tree) می‌توان مدل پیش‌بینی رویشگاه را ارائه کرد (۲۱ و ۲۴). آرتسن و همکاران (۱۲) تکنیک‌های مدل‌سازی مختلف را برای پیش‌بینی شاخص رویشگاه گونه‌ها در جنگل‌های کوهستانی آنتالیا در ترکیه مقایسه و رتبه‌بندی نمودند. در این تحقیق آنها از پنج تکنیک مدل‌سازی شامل رگرسیون خطی چند متغیره (MLR: Multiple Linear Regression)، درخت رگرسیون و طبقه‌بندی (CART)، درخت رگرسیون تقویت شده (BRT: Boosted Regression Tree) مدل‌های جمعی تعمیم یافته (GAM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN: Artificial Neural Network) استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که در بین مدل‌ها، مدل GAM بهتر از سایر روش‌ها شاخص رویشگاه را برای سه گونه *Pinus nigra*، *Pinus brutia* و *Cedrus libani* پیش‌بینی نمود. آرتسن و همکاران (۱۳) تکنیک‌های مختلف مدل‌سازی را برای پیش‌بینی سایت شاخص در دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای مورد بررسی قرار داده، برای منطقه کوهستانی متغیرهای توپوگرافی و برای منطقه جلگه‌ای متغیرهای مربوط به خاک و هوموس را مورد استفاده قرار داده و روش‌های MLR، CART، BRT، GAM و ANN را مورد مقایسه قرار دادند. دوبویس و همکاران (۲۰) در پیش‌بینی الگوهای مکانی تنوع زیستی گونه‌های گیاهی مرتعی در سوئیس با استفاده از چهار مدل GAM، GBM، RF و GLM بیان نمود که از بین متغیرهای خاکی، اسیدیته و درصد نیتروژن خاک بیشترین تأثیر را در مدل‌های پراکنش گونه‌ای دارند. ترکش (۳۳) به مقایسه کارایی شش مدل پیش‌بینی کننده پوشش گیاهی از مدل‌های متمایز کننده گروهی و مدل‌های پروفیل پرداخته و همچنین عملکرد سه مدل GARP، BIOCLIM، MAXENT را با سه مدل غیرپارامتری (MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines)، LRT و NPMR: (None Parametric Multiplicative Regression) (Logistic Regression Tree) مقایسه کردند. داده‌های ورودی هر شش مدل یکسان بود و رویشگاه بالقوه گونه *Teucrio-Seslerietum* را در منطقه مطالعاتی در مرکز آلمان تعیین نمودند. دقت مدل‌ها با استفاده از ضرایب آماری کاپا و سطح زیر منحنی پلات‌های ROC محاسبه شد.

تهیه داده‌های مرتبط با عوامل محیطی و پوشش گیاهی

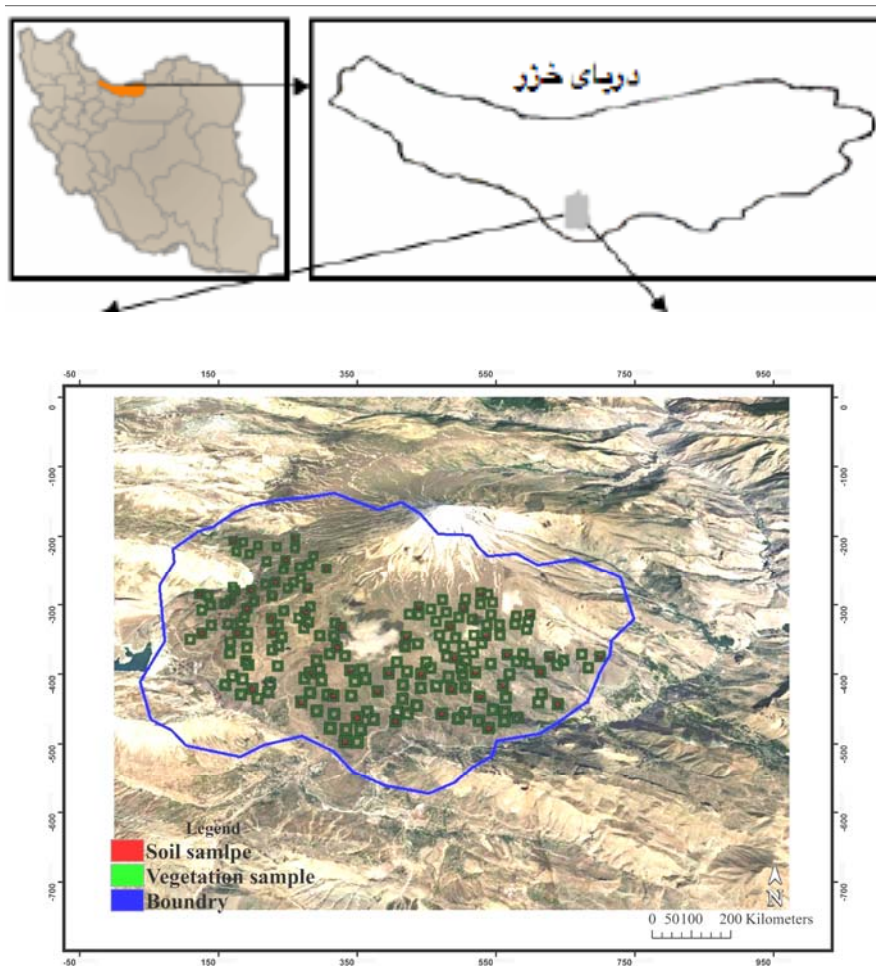
نمونه‌برداری در فصل رویش منطقه خرداد و تیر سال ۱۳۹۱ آغاز گردید. از ابتدا با رویهم‌گذاری نقشه‌های ارتفاع، شیب، جهت در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ نقشه واحد شکل زمین تهیه شد تا واحدهای همگن برای نمونه‌برداری در منطقه مشخص شود. ۱۲ واحد کاری در منطقه به دست آمد که در هر کدام ۲ سایت نمونه‌برداری انتخاب شد. حداقل مساحت هر واحد نمونه‌برداری ۲۰ هکتار بوده است. در سه واحد به علت وسعت کم یک واحد نمونه‌برداری وجود داشت (۲۷ و ۳۲). در هر سایت ۱۰ پلات ۲ مترمربعی مستقر شد و ۴ نمونه خاک، در مجموع ۲۱۰ پلات مستقر و ۴۸ نمونه خاک برداشت شد (شکل ۱). حداقل فاصله پلات‌ها از هم ۱۰۰ متر برای جلوگیری از همبستگی بین داده‌ها در نظر گرفته شد (۳ و ۱۹). در پلات‌ها حضور و عدم حضور گونه‌ها و درصد تاج پوشش گونه‌ها ثبت گردید. نمونه‌های خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری، با سه تکرار برداشت شد. سپس در هوای آزاد خشک گردیده، در هاون کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد تا آماده برای آزمایشات مختلف گردد. در آزمایشگاه ویژگی‌های مختلف خاک اندازه‌گیری شد. بدین منظور بافت خاک (درصد شن، رس و سیلت) با روش هیدرومتری بویکس، نیتروژن به روش کجلدال، کربن آلی با روش اکسیداسیون مرطوب والکی بلک، اسیدیته خاک در گل اشباع، سفر کل با روش کلریمتری، پتاسیم قابل جذب بعد از استخراج با استات آمونیوم ۸ نرمال با اسیدیته ۷ اندازه‌گیری شد (۴). ظرفیت زراعی در فشار ۳۳- کیلوپاسکال و نقطه پژمردگی در فشار ۱۵۰۰- کیلوپاسکال با کمک دستگاه Pressiplate اندازه‌گیری شدند. آب در دسترس حاصل تفاضل ظرفیت و نقطه پژمردگی است و ظرفیت نگهداری آب در خاک از ضرب عدد ۱/۸۵ در نقطه پژمردگی به دست می‌آید (۴). با استفاده از GPS موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌های خاک برداشت و ثبت گردید. داده‌های اقلیمی نیز از اداره کل آب منطقه‌ای و اداره کل هواشناسی استان مازندران

نتایج نشان داد از گروه اول MAXENT و از گروه دوم MARS بالاترین دقت را دارا بودند. جان (۲۸) به مقایسه دو تکنیک مدل‌سازی BRT و RF پرداخته و به این نتیجه رسید که در موضوع برآزش بیش از حد و دقت پیش‌بینی، BRT تا حدودی بهتر عمل می‌کند. در داخل کشور نیز تحقیقات جعفریان و همکاران (۳) در تهیه نقشه مکانی گونه‌های گیاهی با استفاده از رگرسیون لجستیک در مراتع رینه بیان شد که همبستگی مربوط به مدل گراس چندساله و *Acantholimon demawendicum* با ضریب یک است و در مرتبه بعدی گونه *onorychis coronata* با ضریب ۰/۸۷۹ قرار دارد. همچنین در داخل کشور مطالعات دیگری در زمینه مدل‌سازی پیش‌بینی حضور گونه‌های مرتعی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (زارع چاهوکی و همکاران (۵))، شبکه عصبی مصنوعی (عباسی و زارع چاهوکی (۸))، مدل جمعی تعمیم یافته (قاضی مرادی (۹)) و رگرسیون لجستیک درختی (ساکي و همکاران (۶)) انجام شده است. از آنجایی که با مدل‌سازی نیازهای محیطی گونه‌ها در مناطق حفاظت شده، مناطقی که حضور دارند و مناطقی که قبلاً حضور داشتند می‌توان مناطق بحرانی برای گونه‌ها را تعیین نمود و مورد حفاظت قرار داد و همچنین در داخل ایران در زمینه به‌کارگیری مدل‌های BRT و RF تحقیقات کمی صورت گرفته است، لذا مطالعات پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی با استفاده از این دو مدل ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مراتع پلور در شیب‌های جنوبی کوه دماوند با مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 51' 30''$ تا $35^{\circ} 55' 30''$ شمالی و $52^{\circ} 2'$ تا $52^{\circ} 2'$ شرقی قرار دارد. مساحت منطقه حدود ۲۰۱۷ هکتار بوده و ارتفاعی بین ۲۵۰۰ تا ۳۴۶۰ را تحت پوشش خود دارد (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه ۶۵۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۲/۷۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن نیمه‌خشک سرد است. زمین‌شناسی منطقه از نوع جریان‌های گدازه تراکی آندزیتی است (۲).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان‌های نمونه‌برداری

برای پیش‌بینی ترکیب می‌گردند (۱۸). زمانی که متغیرهای پیشگو و هدف مشخص شدند، جنگل‌های تصادفی با رویاندن یک درخت تصمیم شیبه CART شروع می‌شود، این درخت از چندین لحاظ با درخت CART استاندارد متفاوت است. پارامترهای کلیدی برای مدل جنگل تصادفی، تعداد درختان و پارامتر، تعداد متغیرهای پیشگو می‌باشند. براساس این دو پارامتر، درخت تصمیم به بزرگترین اندازه ممکن رویانده و بدون هرس رها می‌شود (۱۴ و ۳۱). برای اجرای مدل جنگل تصادفی از نرم‌افزار R 3.1.1 و بسته randomforest (۱۵) استفاده می‌گردد. این ترکیبی از تکنیک‌های آماری و یادگیری ماشین است. این مدل یکی از تکنیک‌های مختلفی است که با استفاده از ترکیب

گردآوری و با بررسی داده‌ها با استفاده از روش نمودار میله‌ای یک دوره آماری ۲۵ ساله برای بازسازی داده‌ها و انجام تحقیق انتخاب شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جنگل تصادفی (Random Forest) یک روش جدید و قدرتمند است که پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای را در تکنولوژی داده‌کاوی ارائه داده است، با این وجود این روش در مطالعات اکولوژیک نسبتاً ناشناخته است. رویکرد جنگل تصادفی مبتنی بر روش‌های جدید ترکیب اطلاعات است که در آن تعداد زیادی درخت تصمیم ایجاد گردیده، سپس تمام درختان با هم

نتایج

با ارزیابی پوشش گیاهی منطقه سه تیپ گیاهی شناسایی، ۵ گونه غالب منطقه که درصد پوشش بیشتری داشتند، برای آنالیز وارد مدل‌ها شدند. در تیپ *Astragalus ochrodeucus* و *Onobrychis cornata* گونه‌های *Astragalus ochrodeucus* و *Onobrychis cornata* به ترتیب با ۱۳/۲ و ۱۱ درصد ترکیب عمدۀ سطح ۴ تاج پوشش را تشکیل می‌دهند و گونه‌های *Thymus kotschyanus* با پوشش ۵/۴ و *Ferula gumosa* با پوشش ۴/۵ درصد گونه‌های همراه این تیپ را تشکیل می‌دهند. در تیپ *Agropyron repens* - *Onobrychis cornata* در تیپ *Agropyron repens* با سطح تاج پوشش ۱۷/۸۸ درصد ترکیب عمدۀ این تیپ را تشکیل می‌دهد. همچنین گونه‌های *Onobrychis cornata* و *Thymus kotschyanus* به ترتیب با ۱۶/۵۳ و ۱۳ درصد پوشش دیگر گونه‌های غالب این تیپ را شامل می‌شوند. در تیپ *Thymus kotschyanus* - *Agropyron repens* گونه *Thymus kotschyanus* با ۱۳/۶۹ درصد ترکیب عمدۀ پوشش گیاهی را تشکیل می‌دهد. گونه‌های *Ferula gumosa* و *Astragalus ochrodeucus* به ترتیب با ۱۱/۶ و ۸/۳۴ درصد پوشش همراه این گونه می‌باشند. تیپ‌های گیاهی منطقه مطالعه به همراه مشخصات ساختاری آنها در جدول ۱ آمده است. در جدول ۲ نیز مهم‌ترین آماره‌های توصیفی خصوصیات محیطی مورد مطالعه آورده شده است.

آنالیز اهمیت متغیرها

یکی از اساسی‌ترین مشکلاتی که محققین با آن روبرو هستند وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل می‌باشد. به منظور بررسی هم‌خطی یا هم‌راستایی بین متغیرهای مستقل از عامل تورم واریانس (VIF) استفاده گردید (۲۲). متغیرهایی که VIF آنها کمتر از ۱۰ باشد مشکل هم‌راستایی نخواهند داشت (۲۰). بدین منظور ابتدا مقدار VIF برای تمام متغیرهای مستقل محاسبه شد، نتایج نشان داد که مقدار VIF برای متغیرهای آب در دسترس، ظرفیت زراعی مزرعه، وزن مخصوص ظاهری،

مدل‌های متعدد به بهبود عملکرد تک مدل کمک می‌کند. BRT از ترکیب دو الگوریتم استفاده می‌کند: مدل رگرسیونی CART و ساخت و ترکیب مجموعه‌ای از مدل‌ها (۲۲). Boosting روشی برای افزایش دقت مدل است و بر این اساس کار می‌کند که ساخت، ترکیب و میانگین‌گیری تعداد زیادی مدل بهتر و دقیق‌تر از ایجاد یک مدل است. BRT بر بزرگترین ضعف تک درخت تصمیم که برازش نسبتاً ضعیف است غلبه می‌نماید (۱۲). در BRT تنها اولین درخت از کل داده‌های آموزشی ساخته می‌شود، درخت‌های بعدی بر روی داده‌های باقی‌مانده از درخت قبل از خود رشد داده می‌شوند. درخت‌ها بر روی همه داده‌ها ساخته نمی‌شوند و فقط از تعدادی از داده‌ها استفاده می‌کنند (۲۸). ایده اساسی در این روش ترکیب مجموعه‌ای از مدل‌های پیش‌بینی کننده ضعیف (خطای پیش‌بینی بالا) برای رسیدن به پیش‌بینی قوی (خطای پیش‌بینی کم) می‌باشد. در هر مرحله، هر مجموعه داده طبقه‌بندی می‌شوند و این طبقه‌بندی به عنوان وزن برای برازش درخت بعدی استفاده می‌گردد. مدل رگرسیون تقویت شده در نرم‌افزار R 3.1.1 و با استفاده از بسته *dismo* (۲۰) استفاده می‌شود. همچنین برای آنالیز اهمیت متغیرهای محیطی در دو مدل از بسته *biomod2* (۱۹) استفاده شد.

مقایسه مدل‌ها

یک معیار تنها برای انتخاب بهترین مدل از بین تعداد زیادی مدل وجود ندارد و قضاوت در مورد انتخاب مدل فقط با یک معیار روش مناسبی نیست و احتمال اشتباه در انتخاب مدل مناسب را بالا می‌برد (۱۲). در این مطالعه برای مقایسه عملکرد بین دو مدل از سطح زیر منحنی (AUC)، ضریب کاپا و TSS در بسته *presence-absence* استفاده شد (۱۴ و ۱۹). همچنین برای بررسی ارزیابی صحت مدل از روش *Ten-fold* در بسته *caret* استفاده شد (۱۲). کلیه آنالیزها در نرم‌افزار R 3.1.1 انجام پذیرفت (۳۰).

جدول ۱. تیپ‌های گیاهی منطقه مطالعه به همراه درصد پوشش آنها

| درصد سنگ و لخت | درصد سنگ و سنگریزه | درصد لاشبرگ | درصد پوشش | نوع تیپ |
|----------------|--------------------|-------------|-----------|---|
| ۱۴/۱۹ | ۴۷/۱۲ | ۴/۵۹ | ۳۴/۱ | <i>Astragalus ochrodeucus- Onobrychis cornata</i> |
| ۲۰/۸ | ۲۶/۱۴ | ۵/۶۵ | ۴۷/۴۱ | <i>Agropyron repens- Onobrychis cornata</i> |
| ۲۶/۱۴ | ۳۵/۲۸ | ۴/۹۵ | ۳۳/۶۳ | <i>Thymus kotschyanus- Agropyron repens</i> |

جدول ۲. مهم‌ترین آماره‌های توصیفی خصوصیات محیطی سه تیپ موجود در منطقه مورد مطالعه

| <i>Thy.kot - Ag. rep.</i> | | <i>Ag.rep.-Ono.cor</i> | | <i>Astr ochr-Ono.cor</i> | | خصوصیات محیطی |
|---------------------------|---------|------------------------|---------|--------------------------|---------|------------------------|
| انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار | میانگین | |
| ۰/۸۸۹ | ۵۵/۴۴۵ | ۰/۲۳۸ | ۵۵/۴۹۵ | ۰/۱۵۴ | ۵۰/۱۵۴ | میانگین رطوبت سالانه |
| ۲۳/۶۷۱ | ۱۸/۲۳۹ | ۶/۰۵۳ | ۲۴/۱۲۷ | ۴/۲۶ | ۱۰۰/۹۸۶ | میانگین بارندگی سالانه |
| ۰/۳۶ | ۶/۰۷۶ | ۰/۰۷۸ | ۶/۰۹۷ | ۰/۰۶ | ۳/۹۶ | میانگین دمای سالانه |
| ۹۰/۷۳۷ | ۲۶۵۶/۳۸ | ۲۴/۳۹۲ | ۲۵۴۷/۵ | ۱۶/۶۵۲ | ۳۱۸۲/۴ | ارتفاع |
| ۱۸/۵۴۸ | ۲۷/۶۹۲ | ۱۲/۰۳۸ | ۲۳/۷۵۰ | ۱۸/۰۷۵ | ۲۷/۸۰ | شیب |
| ۶۶/۷۲۵ | ۱۵۹/۹۲۳ | ۱۲۱/۷۰ | ۲۶۹/۷۵ | ۸۸/۳۸۱ | ۲۰۹/۶۰ | جهت |
| ۰/۱۳ | ۰/۱۹ | ۰/۰۱ | ۰/۱۶ | ۰/۰۶ | ۰/۲۴ | نیترژن |
| ۰/۲۵ | ۶/۴۲ | ۰/۱۱ | ۶/۲۱ | ۰/۴۲ | ۵/۹۶ | اسیدیته |
| ۰/۹۴ | ۲/۸۴ | ۰/۲۱ | ۳/۰۶ | ۰/۷۹ | ۴/۳۶ | کربن آلی |
| ۱۲۹/۷۹ | ۴/۴۵ | ۲۱/۰۴ | ۴/۰۸ | ۲۰۲/۲۸ | ۷/۷۰ | پتاسیم |
| ۱۰/۳۷ | ۴۰/۹۳ | ۱۲/۹۷ | ۳۹/۶۲ | ۱۱/۳۴ | ۴۱/۵ | فسفر |
| ۰/۲۶ | ۱/۷۹ | ۰/۵۳ | ۲/۱۵ | ۰/۲۱ | ۱/۷۰ | آهک |
| ۶/۰۲ | ۳۸/۶۶ | ۲/۴۴ | ۳۷/۳۴ | ۷/۴۲ | ۳۶/۰۸ | سیلت |
| ۶/۵۲ | ۳۶/۲۸ | ۱/۴۶ | ۳۲/۲۸ | ۱۰/۲۶ | ۳۲/۰۴ | رس |
| ۸/۲۳ | ۲۵/۱۲ | ۲/۸۵ | ۳۰/۳۸ | ۱۷/۳۲ | ۳۱/۸۷ | شن |
| ۰/۰۷ | ۱/۵۱ | ۱/۵۱ | ۱/۵۴ | ۰/۰۴ | ۱/۵۱ | وزن مخصوص ظاهری |
| ۳/۰۸ | ۱۰/۳۴ | ۰/۸۷ | ۸/۸۷ | ۱/۵۴ | ۸/۸۳ | اب قابل دسترس |
| ۲/۳۴ | ۱۴/۴۳ | ۰/۸۹ | ۱۴/۱۴ | ۴/۴۲ | ۱۵/۴۷ | درصد نقطه پژمردگی |
| ۴/۶۰ | ۲۷/۵۹ | ۱/۶۵ | ۲۶/۱۷ | ۸/۱۸ | ۲۸/۶۳ | نقطه ظرفیت زراعی |

رس، رطوبت نسبی، جهت، ارتفاع و بارندگی صورت گرفته است. آنالیز اهمیت متغیرهای محیطی برای مدل‌های مختلف در بسته biomod2 انجام شد. نتایج حاصل از این آنالیز نشان داد که در مدل RF متغیرهای پتاسیم و آهک بیشترین اهمیت را

فسفر، درصد شن، درصد کربن آلی، نقطه پژمردگی، شیب و درجه حرارت بالاتر از ۱۰ می‌باشد، در نتیجه این نه متغیر از تجزیه و تحلیل حذف می‌شوند (۱۲) و مدل‌سازی با استفاده از باقی‌مانده متغیرها شامل اسیدیته، آهک، نیترژن، پتاسیم، سیلت،

جدول ۳. آنالیز اهمیت متغیرهای محیطی مورد مطالعه

در بسته biomod2

| RF | BRT | خصوصیات |
|------|------|------------|
| ۰/۳۹ | ۰/۲۵ | اسیدپتیه |
| ۱/۲۲ | ۰/۷۱ | آهک |
| ۰/۴۲ | ۰/۵۶ | نیتروژن |
| ۰/۴۶ | ۰/۶۶ | پتاسیم |
| ۰/۳۳ | ۱/۱۱ | سیلت |
| ۱/۴۸ | ۰/۸۹ | رس |
| ۰/۰۹ | ۰/۱۲ | رطوبت نسبی |
| ۱/۰۵ | ۱/۱۰ | جهت |
| ۰/۲۰ | ۰/۵۶ | ارتفاع |
| ۰/۲۱ | ۰/۳۸ | بارندگی |

گونه *Ferula gumosa* نیتروژن، بارندگی، ارتفاع و پتاسیم بوده است (جدول ۴).

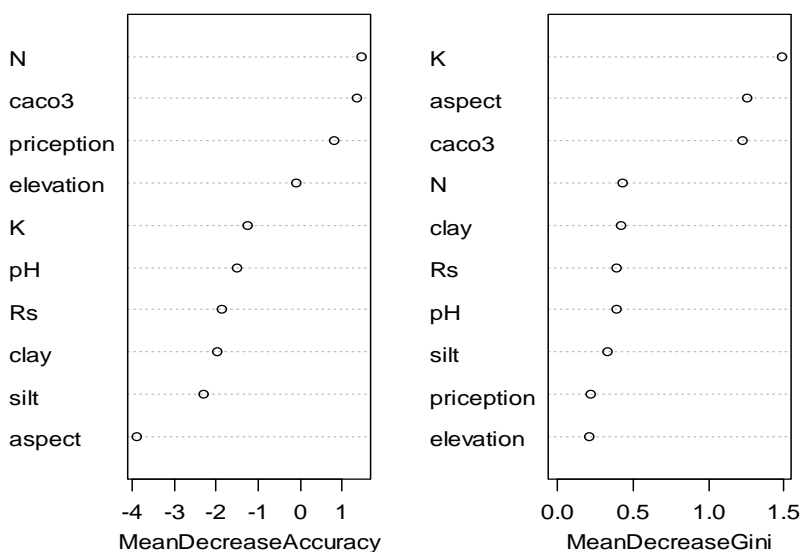
نتایج حاصل از عملکرد مدل‌های BRT و RF نشان داد که بالاترین AUC در مدل BRT مربوط به حضور گونه *Agropyron repens* به میزان ۰/۷۶ بوده است. بالاترین ضریب کاپا و TSS به ترتیب مربوط به گونه *Ferula gumosa* می‌باشد. در مدل RF نیز بالاترین AUC مربوط به گونه *Onobrychis Cornata* است. بالاترین ضریب کاپا و TSS به ترتیب مربوط به گونه *Ferula gumosa* و *Agropyron repens* بوده است (جدول ۵). همچنین نقشه پراکنش گونه *Agropyron repens* تولید و در چهار کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۴). با توجه به جدول ۶ و ۷، با روش‌های جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت شده قابل پیش‌بینی است که به ترتیب حدود ۳۴/۱۵ درصد و ۲۵/۲۳ درصد منطقه مطالعاتی به‌عنوان رویشگاه این گونه در نظر گرفته شود.

بحث و نتیجه‌گیری

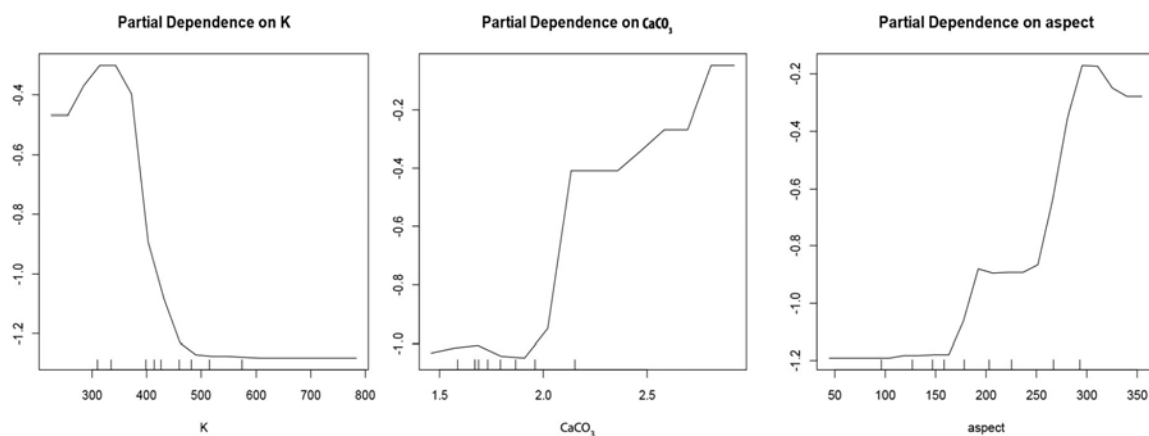
نتایج تحقیق نشان داد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی منطقه عوامل خاکی و عوامل توپوگرافی بودند که نشان می‌دهد این دو عامل بر پوشش منطقه تأثیرگذار هستند که با نتایج جعفریان و کارگر (۲) مطابقت دارد. به طوری که در مدل RF متغیرهای پتاسیم و آهک و در مدل BRT نیز سیلت و جهت بیشترین اهمیت را در مدل داشتند که با یافته‌های محققان دیگر (۱۲، ۱۹ و ۲۰) همخوانی دارد. در این پژوهش از دو روش جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت شده برای تعیین مدل‌های پیش‌بینی گونه‌های گیاهی غالب منطقه انتخاب شدند. بسیاری از محققان در تهیه مدل‌های پیش‌بینی از این دو روش استفاده کرده‌اند (۱۳، ۱۹ و ۲۰). در پژوهشی چهار مدل خطی تعمیم یافته، مدل جمعی تعمیم یافته، درخت رگرسیون تقویت شده و جنگل تصادفی را با هم مقایسه کردند. این محققین نشان دادند که مدل جنگل تصادفی دقت بیشتری دارد که با یافته‌های تحقیق هم‌خوانی دارد (۱۹). از آنجایی که روش

داشتند. همچنین در مدل BRT نیز سیلت و جهت بیشترین اهمیت را در مدل داشتند (جدول ۳).

نتایج بیانگر این مطلب است که در مدل BRT برای گونه متغیرهای تأثیرگذار بودند. برای گونه‌های *Astragalus ochrodeucus* و *Agropyron repens* متغیرهای آهک، نیتروژن، رس و برای گونه *Onobrychis Cornata* متغیرهای جهت، پتاسیم، بارندگی تأثیر داشتند. در رابطه با گونه‌های *Thymus kotschyanus* آهک، پتاسیم و متغیرهای اسیدپتیه، ارتفاع، بارندگی نیز در گونه *Ferula gumosa* اثر داشته است. در شکل‌های ۲ و ۳ نمونه‌ای از رفتار منحنی و اهمیت متغیرها در مدل جنگل تصادفی برای گونه *Agropyron repens* آورده شده است. در مدل RF نیز در رابطه با گونه *Astragalus aegobromus* اسیدپتیه، آهک و پتاسیم از عوامل تأثیرگذار بر پراکنش این گونه بودند. برای گونه *Agropyron repens* نیز پتاسیم، جهت، آهک، نیتروژن و رس در پراکنش تأثیر داشتند. همچنین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه *Onobrychis cornata* در مدل RF نیتروژن، جهت و اسیدپتیه بوده است. در پراکنش گونه *Thymus kotschyanus* جهت، نیتروژن، اسیدپتیه و سیلت و در پراکنش



شکل ۲- خلاصه اهمیت متغیرهای محیطی به ترتیب در مدل جنگل تصادفی برای گونه *Agropyron Repens*



شکل ۳. شکل رفتار منحنی برخی متغیرهای محیطی در مدل جنگل تصادفی *Agropyron Repens*

گیاهی را بهتر پیش‌بینی می‌کند. این موضوع با مطالعات انجام شده توسط آرتسن و همکاران (۱۲) و دوبویس و همکاران که از روش های RF، GAM و GBM استفاده کردند، همخوانی دارد. در این پژوهش از ضریب‌های AUC، TSS و کاپا برای ارزیابی صحت مدل استفاده شد (۱۴ و ۲۰). با توجه به مقدار ضریب AUC کاربرد مدل جنگل تصادفی برای

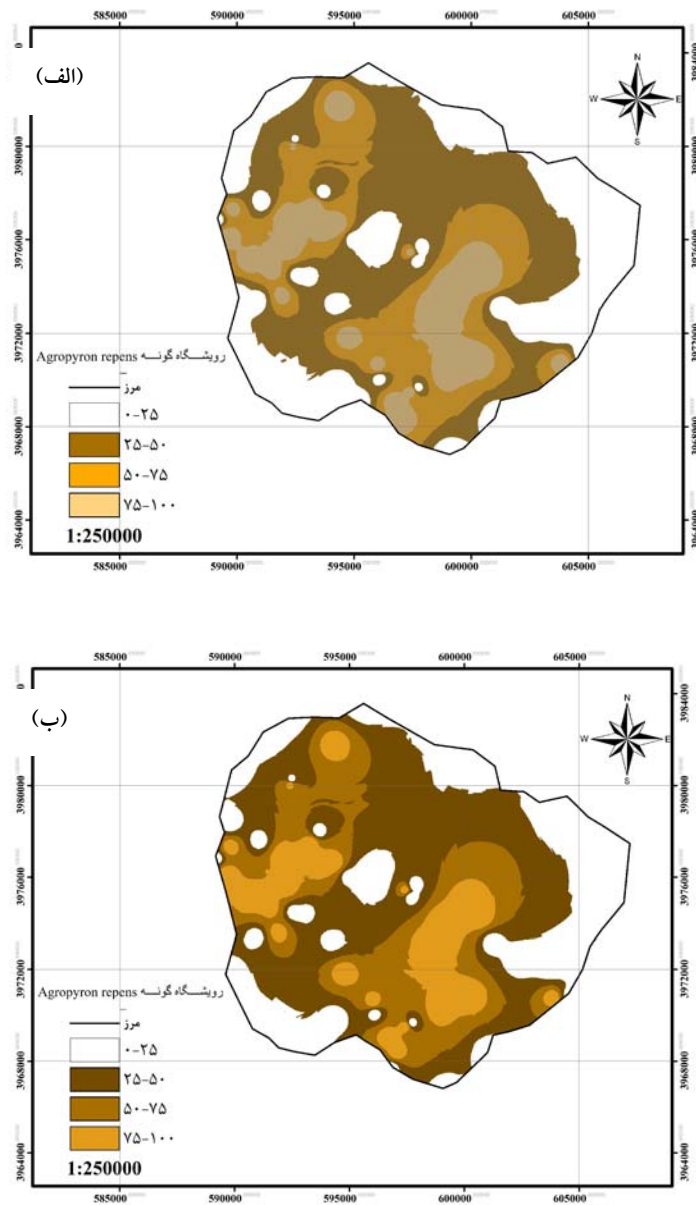
جنگل تصادفی است که با یافته‌های دوبویس و همکاران (۲۰) مطابقت دارد. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر این مطلب است که درصد توانایی مدل‌سازی اثرات متقابل پیچیده میان متغیرهای پیش‌بینی کننده را دارد، لذا این مطلب می‌تواند در عملکرد مدل تأثیرگذار باشد. براساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان داشت که روش جنگل تصادفی پراکنش گونه‌های

جدول ۴. متغیرهای پیش‌بینی‌گر انتخاب شده در مدل با استفاده از BRT و RF

| گونه مورد مطالعه | تکنیک مدل‌سازی | متغیرهای انتخاب شده توسط مدل |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| <i>Astragalus ochrodeucus</i> | BRT | نیتروزن، بارندگی و ارتفاع |
| | RF | اسیدیت، آهک و پتاسیم |
| <i>Agropyron repens</i> | BRT | آهک، نیتروزن و رس |
| | RF | پتاسیم، جهت، آهک، نیتروزن و رس |
| <i>Onobrychis cornata</i> | BRT | جهت، پتاسیم و بارندگی |
| | RF | نیتروزن، جهت و اسیدیت |
| <i>Thymus kotschyanus</i> | BRT | آهک و پتاسیم |
| | RF | جهت، نیتروزن، اسیدیت و سیلت |
| <i>Ferula gumosa</i> | BRT | اسیدیت، ارتفاع و بارندگی |
| | RF | نیتروزن، بارندگی، ارتفاع و پتاسیم |

جدول ۵. عملکرد مدل‌های BRT و RF برای گونه‌های غالب مرتعی مراتع پلور

| شاخص آماری | BRT | RF |
|-------------------------------|-------|-------|
| <i>Astragalus ochrodeucus</i> | | |
| AUC | ۰/۶۵ | ۰/۵۴ |
| Kappa | ۰/۰۳ | ۰/۴۹ |
| TSS | ۰/۱۱ | ۰/۴۴ |
| <i>Agropyron repens</i> | | |
| AUC | ۰/۷۰ | ۰/۷۶ |
| Kappa | ۰/۲۹ | ۰/۰۸۳ |
| TSS | ۰/۳۵ | ۰/۰۸ |
| <i>Onobrychis cornata</i> | | |
| AUC | ۰/۷۳ | ۰/۶۵ |
| Kappa | ۰/۲۲ | ۰/۵۴ |
| TSS | ۰/۳۱ | ۰/۵۵ |
| <i>Thymus kotschyanus</i> | | |
| AUC | ۰/۰۵۲ | ۰/۷۱ |
| Kappa | ۰/۲۲ | ۰/۳۴ |
| TSS | ۰/۰۹ | ۰/۵۴ |
| <i>Ferula gumosa</i> | | |
| AUC | ۰/۵۹ | ۰/۷۰ |
| Kappa | ۰/۴۶ | ۰/۵۸ |
| TSS | ۰/۲۷ | ۰/۵۷ |



شکل ۴. نقشه پیش‌بینی گونه *Agropyron repens* با استفاده از الف) مدل‌های درخت رگرسیون تقویت شده و ب) جنگل تصادفی

بافت خاک نیز از عوامل تعیین کننده پراکنش گونه‌های غالب مرتعی منطقه مورد مطالعه بود. در یک منطقه آب‌وهوایی مشخص، بافت خاک در مقایسه با حاصلخیزی شیمیایی تأثیر بیشتری روی رشد و تجدید حیات موفقیت آمیز گیاهان دارد (۷ و ۱۵). محققین یکی از عوامل مهم در رشد و استقرار گونه‌های

گونه‌های *Agropyron repens* و *Onobrychis cornata* نتایج بهتری را نشان دادند. دلایل این موضوع را می‌توان به داشتن شرایط ویژه این رویشگاه‌های این گونه‌ها نسبت داد. همچنین روش جنگل تصادفی نسبت به مدل درخت رگرسیون تقویت شده دارای عملکرد بهتری بوده رس خاک به‌عنوان جزئی از

جدول ۶. مساحت هر طبقه از رویشگاه گونه *Agropyron repens* با استفاده از روش جنگل تصادفی

| طبقه‌بندی رویشگاه | تناسب رویشگاه | مساحت (هکتار) | مساحت (درصد) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|
| ۰-۲۵ | نامناسب | ۵۳۲ | ۲۶/۳۷ |
| ۲۵-۵۰ | تناسب کم | ۷۹۶ | ۳۹/۴۷ |
| ۵۰-۷۵ | مناسب | ۴۵۷ | ۲۲/۶۹ |
| ۷۵-۱۰۰ | تناسب عالی | ۲۳۱ | ۱۱/۴۶ |

جدول ۷. مساحت هر طبقه از رویشگاه گونه *Agropyron repens* با استفاده از روش درخت رگرسیون تقویت شده

| طبقه‌بندی رویشگاه | تناسب رویشگاه | مساحت (هکتار) | مساحت (درصد) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------|
| ۰-۲۵ | نامناسب | ۶۲۱ | ۳۰/۷۸ |
| ۲۵-۵۰ | تناسب کم | ۸۸۷ | ۴۳/۹۷ |
| ۵۰-۷۵ | مناسب | ۳۹۷ | ۱۹/۶۸ |
| ۷۵-۱۰۰ | تناسب عالی | ۱۱۲ | ۵/۵۵ |

قرار گرفتن این گونه در کنار یک گونه تقریباً ناسازگار با محیط و وابسته به ارتفاع مانند *Astragalus* دانست. محققین زیادی رطوبت نسبی را مورد مطالعه قرار داده‌اند (۲۵).

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه بیلاقی بوده و میزان رطوبت در منطقه بالا و جز مناطق مرتفع می‌باشد، در نتیجه از گروه عوامل اقلیمی رطوبت سالانه، از عوامل توپوگرافی ارتفاع به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های گیاهی شناخته شدند که با نتایج برخی از محققین همخوانی دارد (۲ و ۳۴). از بین عوامل تأثیرگذار بر حضور گونه *Astragalus ochrodeucus* نیتروژن و اسیدیته بودند که با نتایج برخی از تحقیقات مطابقت دارد (۲ و ۱۹). همچنین مواد آلی از ازت غنی هستند و به دلیل داشتن صفات جذب سطحی در حد قابل توجهی در نگه‌داری عناصر تبدلی و در اختیار گذاشتن عناصر نقش مهمی ایفا می‌کنند. ارتباط درصد شن و سیلت و رس (۲۵) و عوامل حاصلخیزی خاک مانند نیتروژن (۶ و ۱۹) با پوشش گیاهی قبلاً نیز ثابت شده است. رس و کربن آلی در تأمین رطوبت و مواد غذایی برای گیاه نقش عمده‌ای دارند. تغییرات بافت خاک افزون بر تأثیر در جذب مواد غذایی و تهویه بر میزان رطوبت قابل دسترس نیز مؤثر است.

گیاهی را بافت خاک می‌دانند که با نتایج این تحقیق نیز مطابقت دارد (۱). رطوبت نسبی نیز از دیگر عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌های منطقه بوده است. انتقال مواد غذایی در یک سیستم با جریان رطوبت تطابق دارد. در حقیقت شرط اصلی چرخه مواد بین گیاهان و خاک وجود رطوبت کافی است (۵). در مطالعه پراکنش گونه *Astragalus sp* محققین بیان داشتند که مهم‌ترین عوامل اکولوژیکی بر پراکنش این گونه آهک و جهت می‌باشد که با نتایج ارائه شده مطابقت دارد (۲). از جمله عوامل مؤثری که در گونه *Agropyron repens* اثر داشته درصد آهک است که این عامل باعث به‌وجود آمدن ساختمان مناسب و ایجاد تغییراتی در اسیدیته خاک می‌شود، ولی اگر مقدار آن بیش از حد افزایش یابد با ایجاد سخت لایه و افزایش میزان اسیدیته و املاح در محدوده ریشه مشکلاتی را برای گیاهان به‌وجود می‌آورد. بنابراین می‌توان آن را از عوامل محدود کننده رشد و انتشار گیاهان به‌حساب آورد (۱۱).

مطالعات مختلفی تأثیر میزان آهک بر حضور گونه‌های گیاهی را مورد تأکید قرار داده‌اند (۳، ۵ و ۶). نتایج تحقیق نشان داد که گونه *Onobrychis radiata* با رطوبت نسبی ارتباط معنی‌داری نداشت. دلیل وجود چنین استثنایی را می‌توان به

لجستیک (۵) نیز نتایج مشابهی با این تحقیق در بر داشت. لازم به ذکر است که مدل‌های ارائه شده در این پژوهش فقط در محدوده شرایط رویشگاهی منطقه مورد مطالعه صادق است و برای مناطق دیگر باید آنها را در چند منطقه با گونه گیاهی مشابه آزمون کرد تا میزان تبعیت مدل را سنجید. در صورتی که مدل‌های پیش‌بینی دارای دقت مناسب باشند از آنها می‌توان در برنامه‌های اصلاحی و مدیریت مرتع برای پیشنهاد گونه‌های سازگار با شرایط منطقه استفاده کرد.

از مدل‌های پیشنهادی RF و BRT می‌توان برای تهیه نقشه‌های پتانسیل پراکنش پوشش گیاهی و معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتعی نظیر بذرکاری، بوته‌کاری و تعیین مناطق با گونه‌های نادر و با ارزش استفاده نمود.

با مشخص شدن عوامل اصلی تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌ها و مطالعه بر روی این عوامل به‌جای مطالعه بر کلیه عوامل محیطی منطقه از صرف وقت و هزینه زیاد جلوگیری شده و مطالعات مقرون به صرفه می‌گردد. کاربرد دیگر مدل‌سازی پیش‌بینی پوشش گیاهی در ارزیابی سلامت و وضعیت اکوسیستم است (۲). محققانی نیز به این نتیجه رسیدند که ارتفاع و بارندگی سالیانه از مهم‌ترین عوامل در پیش‌بینی توزیع گونه گیاهی *Astragalus ochrodeucus* است (۲ و ۳). بررسی ارتباط بین عوامل محیطی و پوشش گیاهی در مراتع پلور با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (۲)، در مراتع رینه با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (۳) و ارتباط بین عوامل محیطی و پوشش گیاهی در شمال شرق سمنان با استفاده از روش رگرسیون

منابع مورد استفاده

۱. جعفری، م.، م. ع. زارع چاهوکی، و ا. طویلی. ۱۳۸۵. بررسی بین خصوصیات خاک و پراکنش گونه‌های گیاهی در مراتع قم. پژوهش و سازندگی ۱۹(۳): ۱۱۶-۱۱۰.
۲. جعفریان، ز. و م. کارگر. ۱۳۹۱. تعیین عوامل محیطی مؤثر بر گروه گونه‌های اکولوژیکی با استفاده از رگرسیون لجستیک در مراتع پلور مازندران. نشریه علوم محیطی ۱۰(۲): ۱۱۸-۱۰۷.
۳. جعفریان، ز.، ح. ارزانی، م. جعفری، ق. زاهدی و ح. آذرینوند. ۱۳۹۱. تهیه نقشه مکانی گونه‌های گیاهی با استفاده از رگرسیون لجستیک در مراتع رینه. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی ۷۹: ۱۸-۱.
۴. جعفری حقیقی، م. ۱۳۸۲. روش‌های تجزیه خاک نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی، مشهد، انتشارات ندای ضحی، ۲۷۲ ص.
۵. زارع چاهوکی، م. ع. ل. خلاصی اهوازی و ح. آذرینوند. ۱۳۹۳. مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی براساس عوامل خاکی و توپوگرافی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در مراتع شرق سمنان. نشریه مرتع و آبخیزداری ۶۷(۱): ۵۹-۴۵.
۶. ساکی، م.، م. ترکش، م. بصیری و م. ر. وهابی. ۱۳۹۱. تعیین رویشگاه بالقوه گونه گیاهی گون زرد (*Astragalus verus*) با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک درختی (LRT). مجله اکولوژی کاربردی ۱(۲): ۳۷-۲۷.
۷. صفایی، م. ۱۳۹۱. مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه گیاهی گون زرد با استفاده از دو روش تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (ENFA) و رگرسیون لجستیک (LR) در منطقه فریدون‌شهر استان اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۸. عباسی، م. و م. ع. زارع چاهوکی. ۱۳۹۳. مدل‌سازی پراکنش *Stipa barbata* و *Agropyron intermedium* با روش شبکه عصبی مصنوعی در مراتع طالقان میانی. تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده ۵(۲): ۵۷-۴۷.
۹. قاضی مرادی، م. ۱۳۹۲. مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه کما با استفاده از دو مدل شبکه‌های باوربیزین (BBN) و مدل افزایشی

- تعمیم یافته (GAM) در منطقه فریدون شهر اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۰. مصطفوی، م.، ا. علیزاده، و م. کابلی. ۱۳۸۹. تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه‌های بهاره و تابستانه گونه پازن در پارک ملی لار. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی ۲: ۱۲۱-۱۱۱.
11. Abd El-Ghani, M. M. and W. M. Amer. 2003. Soil- vegetation relationships in coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. *Journal of Arid Environment* 55: 607-628.
 12. Aertsena, W., V. Kinta, J. Orshovena, K. Özkanb and B. Muysa. 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. *Ecological Modelling* 221: 1119-1130.
 13. Aertsen, W., V. Kint, B. De Vos, J. Deckers, J. Van Orshoven and B. Muys. 2011. Evaluation of modelling techniques for forest site productivity prediction in contrasting ecoregions using stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA). *Journal of Environmental Modelling & Software* 26(7): 929-937.
 14. Allouche, O., A. Tsoar and R. Kadmon. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa, and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43: 1223-1232.
 15. Breiman, L. 2001. Random forests. *Journal of Machine learning* 45(1): 5-32.
 16. Brown, G. 1994. Predicting Vegetation types at tree line using topography and biophysical disturbance variables. *Journal of Vegetation Science* 5: 641-656.
 17. Coudun, C., J. C. Gegout, C. Piedallu and J. C. Rameau. 2006. Soil nutritional factors improve models of plant species distribution: an illustration with *Acer campestre* (L.) in France. *Journal of Biogeography* 33: 1750-1763.
 18. Cutler, D. R., Jr. T. C. Edwards, K. H. Beard, A. Cutler and K. T. Hess. 2007. Random forests for classification in ecology. *Journal of Ecology* 88(11): 2783-2792.
 19. Dubuis, A., S. Giovanettina, L. Pellisier, J. Pottier, P. Vittoz and A. Gusian, A. 2013. A Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variable. *Journal of Vegetation Science* 24: 593-606.
 20. Dubuis, A., 2013. Predicting spatial patterns of plant biodiversity: from species to communities. PhD. Thesis, University of Lausanne, 295 p.
 21. Elith, J., C. H. Graham and R. P. Anderson. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* 135: 213-222.
 22. Elith, J., J. R. Leathwick and T. Hastie. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77(4): 802-813.
 23. Freeman, E. A. and G. G. Moisen. 2008. A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. *Ecological Modelling* 217: 48-58.
 24. Guisan, A., T. C. Jr. Edwards and T. J. Hastie. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological modeling* 157(2): 89-100.
 25. He, M. Z., J. G. Zheng, X. R. Li and Y. L. Qian. 2007. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China. *Journal of Arid Environment* 69: 473-489.
 26. Herrera, B., J. J. Campos and B. A. Finegan. 1999. Factors affecting site productivity of a Costa Rican secondary rain forest in relation to *Vochysia ferruginea*, a commercially canopy tree species. *Journal of Forest Ecology Management* 118(1): 73-81.
 27. Hirzel, A. and A. Guisan. 2002. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modeling? *Ecological Modeling* 157: 331-341.
 28. Jun, S-H. 2013. Boosted regression trees for ecological modeling. *Journal of Animal Ecology* 77(4): 802-813.
 29. Pinke, G., R. Pal and Z. Botta-Dukat. 2010. Effect of environmental factors on weed species composition of cereal and stubble fields in western Hungary. *Journal of Biology* 5(2): 283-292.
 30. R Development Core Team. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
 31. Rodriguez-Galiano, V., M. Chica-Olmo, F. Abarca-Hernandez, P. Atkinson and C. Jeganathan. 2012. Random Forest classification of Mediterranean land covers using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture. *Journal of Remote Sensing of Environment* 121: 93-107.
 32. Stockwell, D. and T. Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148(1): 1-13.
 33. Tarkesh, M. 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. Thesis

Ph.D. University of Jena, 106 p.

34. Villers-Ruiz, L., I. Trejo-Vazquez and J. Lipez-Blanco. 2003. Dry vegetation in relation to the physical environment in the Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 14: 517-524.