

تعیین رویشگاه بالقوه گون زرد (*Astragalus verus*) با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم رگرسیونی CART (مطالعه موردی: غرب استان اصفهان)

مصطفی ترکش اصفهانی^{۱*}، نفیسه منصف^۱، محمدرضا وهابی^۱، سعید پورمنافی^۲ و محدثه امیری^{۱ و ۳}

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰)

چکیده

در مطالعه حاضر، ارتباط پراکنش گونه گون زرد (*Astragalus verus*) با اقلیم، خاک و توپوگرافی در استان اصفهان به روش رگرسیون غیرپارامتریک CART (Classification And Regression Trees) بررسی گردید. با بررسی تیپ‌های غالب گونه، ۲۸۷ سایت با نمونه‌برداری تصادفی-طبقه‌بندی شده انتخاب و ۱۰۶ نقطه حضور ثبت شد. متغیرهای خاکی فاقد توزیع نرمال، مطابق نوع چولگی با تبدیل داده نرمال شدند. برای متغیرهایی که با تبدیل داده نرمال نشدند، روش معکوس وزنی فاصله و برای متغیرهای دارای توزیع نرمال، روش‌های کریجینگ برای تولید نقشه به کار رفتند. جهت بررسی پیوستگی مکانی متغیرها، بهترین مدل واریوگرام انتخاب گردید. طبق تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ماتریس همبستگی متغیرها، مؤثرترین عوامل در پراکنش به ترتیب درصد رس، میانگین دمای سردترین فصل (Bio11)، میانگین دمای خشک‌ترین فصل (Bio9)، حداقل دمای سردترین ماه (Bio6)، میانگین دمای سالانه (Bio1)، رطوبت اشباع و کربن آلی بودند. ارزیابی مدل به روش‌های جایگزینی و استفاده از داده‌های مستقل حاکی از دقت بالای مدل بود. طبق آستانه بهینه ۰/۴۱ و نقشه فازی تناسب رویشگاه، سطح رویشگاه مناسب گونه، ۳۴/۵ درصد از منطقه بود. نتایج در مدیریت پایدار، حفاظت و احیای مراتع به کار می‌روند.

واژه‌های کلیدی: تناسب رویشگاه، زمین‌آمار، درخت تصمیم‌گیری، واریوگرام، تحلیل مؤلفه‌های اصلی

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۳. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_tarkesh@cc.iut.ac.ir

مقدمه

جنس گون (*Astragalus*) با دارا بودن حدود ۲۵۰۰ گونه، یکی از بزرگترین جنس‌های گیاهان آوندی است و به خانواده پروانه‌آسا (*Papilionaceae*) تعلق دارد (۲۶). در حال حاضر، حدود ۱۹ درصد سطح مراتع کشور (قریب به ۱۷ میلیون هکتار) تحت پوشش گونه‌های مختلف جنس گون قرار دارند که به صورت گونه غالب یا گونه همراه در تیپ‌های مختلف مرتعی در سلسله جبال البرز و زاگرس گسترش دارند (۸ و ۴۳). تقریباً ۳۱/۴ درصد از سطح استان اصفهان متعلق به رویشگاه‌های گون است. وسعت رویشگاه‌های گون زرد یا گون خاردار (*Astragalus verus*) در این استان تقریباً ۳/۴ برابر وسعت رویشگاه‌های گون سفید (*Astragalus gossypinus*) است (۴۳). گون‌ها به واسطه تولید کتیرا از گیاهان با ارزش دارویی و صنعتی محسوب می‌شوند. همچنین با دارا بودن تاج پوشش نسبتاً وسیع، فشرده و نیمه خوابیده بر سطح خاک ارزش حفاظتی داشته و سبب جلوگیری از فرسایش پاشمانی، کاهش رواناب و فرسایش خاک به ویژه در مناطق شیبدار می‌گردند. گونه‌های گون توانایی تثبیت کربن و نیتروژن را داشته و برخی از آنها به دلیل جذب فلزات سنگین و سنتز مواد آلی سمی نظیر گلیکوزیدها جزو گیاهان سمی به شمار می‌آیند. البته، انواع علفی گون‌ها به واسطه دارا بودن مقادیر زیاد پروتئین و مقادیر کم فیبر، مورد چرای شدید دام واقع می‌شوند (۲۷). متأسفانه، با توجه به تخریب‌های گسترده رویشگاه گون زرد در اثر بهره‌برداری‌های بی‌رویه، بوته‌کنی، آتش‌سوزی و تکرار و تداوم خشکسالی‌ها، معرفی مجدد و بازکاشت این گونه و نیز مدلسازی تناسب رویشگاه‌های حال حاضر آن به منظور احیاء و توسعه اولویت دارد. پیرامون درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و همچنین مدلسازی گون زرد تاکنون مطالعات بسیاری صورت گرفته است. از جمله، علی‌اکبری و همکاران (۲) شاخص‌های رویشگاهی گون زرد را با توجه به عامل خاک در مراتع فریدن استان اصفهان بررسی نمودند. نتایج حاصل از آنالیزهای چند متغیره شامل تحلیل همبستگی کانونی (*Canonical Correlation Analysis, CCA*) و تحلیل مؤلفه‌های

اصلی (*Principal Component Analysis, PCA*) نشان داد که میزان آهک، شوری، فسفر، درصد اشباع و درصد سنگریزه در پراکنش این گونه نقش اساسی داشتند. ساکی و همکاران (۳۷) از مدل رگرسیون لجستیک درختی در تعیین رویشگاه بالقوه گون زرد در مراتع فریدونشهر اصفهان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که حضور گونه بیشترین همبستگی را با میانگین درجه حرارت هوا، رس، کربن آلی و هدایت الکتریکی خاک دارد. ارزیابی مدل با ضریب کاپای ۰/۷۸ و سطح زیر منحنی پلات‌های ROC (*Receiver Operating Characteristic*) برابر ۰/۹۳ توان بالای مدل رگرسیون لجستیک را در تولید نقشه پراکنش گونه در مقیاس محلی نشان داد. صفائی و همکاران (۳۶) رویشگاه بالقوه این گونه را با استفاده از متغیرهای اقلیمی، فیزیوگرافی و خاکی و روش رگرسیون لجستیک در مراتع فریدونشهر اصفهان مدلسازی نمودند. دقت نقشه با توجه به مقدار کاپای ۰/۵ و سطح زیر منحنی پلات‌های ROC برابر با ۰/۷۵، خوب برآورد شد و مهمترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه درجه شیب، میانگین بارش سالانه، میانگین دمای گرمترین فصل سال و درصد رس خاک مشخص شدند. صفائی و همکاران (۳۴) پراکنش پتانسیل گون زرد را با مدل تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (*Ecological Niche Factor Analysis, ENFA*) نیز نقشه‌برداری کردند. مهمترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش گونه تحت این مدل به ترتیب هدایت الکتریکی خاک، میزان کلسیم کربنات، pH خاک، شیب و میانگین دمای ماهانه بودند. ارزیابی مدل با ضرایب آماری کاپا، سطح زیر منحنی ROC و اعتبارسنجی متقابل نشان‌دهنده دقت بالای نقشه تولید شده بود. فکور و همکاران (۱۱) توان تولیدی رویشگاه راش شرقی در جنگل‌های هیرکانی را با استفاده از مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و مدل خطی تعمیم‌یافته بررسی نمودند. نتایج ارزیابی نشان داد که ۶۲ درصد از تغییرات در توان تولیدی را می‌توان با متغیرهای فسفر، تابش خورشیدی، درصد رس و وزن مخصوص ظاهری خاک تبیین کرد. همچنین، اگرچه تکنیک درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و مدل خطی تعمیم‌یافته درصد تغییرات یکسانی را توجیه کردند،

(شکل ۱). مراتع غرب استان اصفهان، از مهمترین مراتع بیلاقی کشور به حساب می‌آیند که اثرات اقتصادی-اجتماعی بسزایی بر جوامع روستایی و عشایری منطقه دارند. در واقع، این مراتع منبع مهم تأمین علوفه دام و تولید گوشت قرمز در منطقه هستند و هر ساله تعداد زیادی دامدار روستایی و عشایری از مناطق مختلف کشور بالاخص مرکز، جنوب و جنوب‌غربی از آن استفاده می‌کنند. محدوده ارتفاعی مورد مطالعه ۳۷۰۰-۷۰۰ متر و میانگین بارندگی سالانه آن ۱۶۰ میلی‌متر می‌باشد. از نظر تقسیمات بوم‌شناختی، منطقه مطالعاتی متعلق به منطقه رویشی ایران-تورانی است و بنابر طبقه‌بندی پایو (۱۹۶۷) چهار زیرمنطقه استپی، نیمه استپی، کوه‌های مرتفع و جنگل‌های خشک را شامل می‌شود. پوشش گیاهی منطقه شامل انواع گون‌ها (*Astragalus spp.*)، علف گندمی (*Agropyron spp.*) و علف پشمکی (*Bromus spp.*) می‌باشد و مراتع آن به صورت بیلاقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. میانگین درجه حرارت سالانه ۱۸/۳ درجه سانتیگراد و میانگین بارش منطقه نیز ۴۵۰ میلی‌متر برآورد شده است. به دلیل اینکه بارندگی‌های بخش‌های شرقی، شمالی، غرب و جنوب‌غربی منطقه دارای الگوهای یکسانی نمی‌باشند، اثر ارتفاع و ترازهای ارتفاعی در این مناطق مشابه نیستند. اقلیم این منطقه جزء نیمه معتدل کوهستانی طبقه‌بندی می‌شود (۳۵). خاک‌های منطقه، نیمه عمیق و دارای بافت متوسط تا سنگین، اغلب از نوع لومی-رسی و دارای رژیم رطوبتی زیریک می‌باشند که حاکی از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد می‌باشد (۱۵).

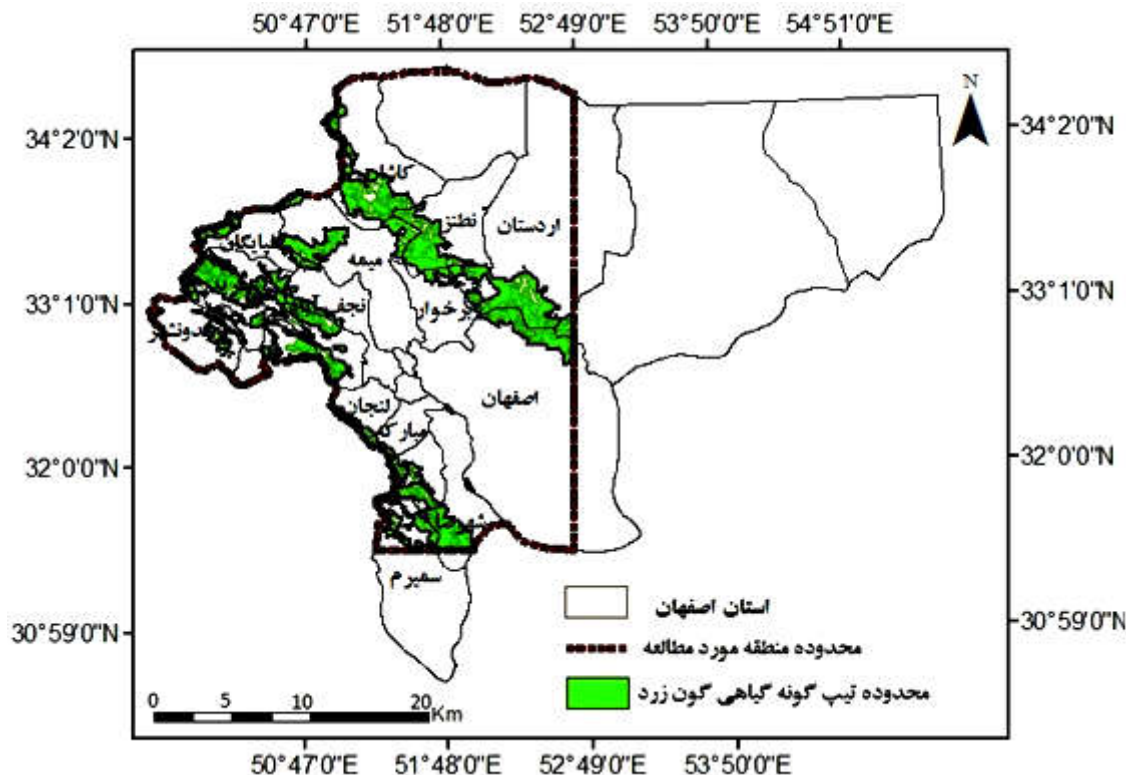
گون زرد گیاهی پایا، بوته‌ای پاکوتاه و یا پابلند بالشتکی می‌باشد که دارای خارهای زرد رنگ و برگ‌های مرکب با ۵-۶ جفت برگچه نیزه‌ای و کشیده است که برگچه انتهایی به خار ختم می‌شود. محور گل کوتاه و گل‌های آن بذری زیادی تولید می‌کنند. تکثیر این گیاه از طریق بذر است. گون زرد جزو گونه‌های غیرخوشخوراک بوده و به دلیل حالت خشکی‌پسندی تاج گیاه و دارا بودن سیستم ریشه‌ای طویل به خشکسالی مقاوم بوده و با شرایط ادفیکی و محیطی مختلف سازگاری دارد (۹).

اما الگوریتم درخت تصمیم نسبت به مدل رگرسیونی عملکرد بهتری داشت و تفسیر آن نیز آسان‌تر بود. کیقبادی و همکاران (۲۳) پراکنش رویشگاه بالقوه و نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی مراتع خضری دشت بیاض خراسان جنوبی را با مدل جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون مطالعه کردند. پس از تعیین حد آستانه به روش TSS (True Skill Statistics) و محاسبه آماره سطح زیر منحنی مشخص شد که هر دو مدل در برآورد دامنه پراکنش گونه‌های مورد بررسی از دقت مناسبی برخوردار بودند.

علیرغم کارکردهای متنوع گون‌ها در اکوسیستم‌های مرتعی، متأسفانه در حال حاضر بهره‌برداری‌های بی‌رویه و روند افزایشی تخریب گون‌زارها در مراتع غرب استان اصفهان مشاهده می‌شود. تحت چنین شرایطی، پیش‌بینی پراکنش گونه‌های باارزش گیاهی امری ضروری جهت حفاظت، مدیریت و ارزیابی میزان تهدیدات به شمار می‌رود. علیرغم استفاده از مدل‌های مختلف در خصوص پراکنش گون زرد، تاکنون پراکنش آن به روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (Classification And Regression Trees, CART) بررسی نشده است. لذا، در مطالعه حاضر، ارتباط پراکنش گون زرد با عوامل اقلیمی، خاکی و توپوگرافی در نیمه غربی استان اصفهان به روش CART بررسی می‌گردد. در این مدل آماری، توابع خطی به وسیله توابع هموار نامعلوم جانشین می‌شوند که دارا بودن هموارسازها یکی از مزایای مهم مدل است و آن را از سایر مدل‌ها متمایز می‌کند. این مزیت سبب توانایی مدل در شناسایی روابط غیرخطی شده است (۲۳). در این مطالعه به دنبال پاسخ به این سؤال هستیم که آیا مدل CART در مدلسازی پراکنش مکانی در مقیاس محلی کارایی دارد یا خیر.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در نیمه غربی استان اصفهان، در محدوده جغرافیایی ۳۱° تا ۳۱° ۲۸' عرض شمالی و ۴۹° تا ۴۴° ۵۲' طول شرقی و به مساحت ۶۱۲۳۶۵۶ هکتار واقع شده است



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به استان و محدوده تیپ گونه (Feizi et al., 2017)

حضور کم به عنوان نقطه غیاب لحاظ شدند.

برداشت میدانی

جهت نمونه‌برداری رخداد گونه به روش نمونه‌برداری تصادفی - طبقه‌بندی شده اقدام به ثبت نقاط رخداد تیپ‌های عمده گونه شد. برای این منظور از نقشه تیپ گیاهی استان در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ به منظور شناسایی تیپ‌های غالب آن استفاده شد (۱۳). سپس از تلفیق نقشه‌های طبقه‌بندی شده ارتفاع، شیب و جهت، نقشه‌ای شامل لایه‌های فیزیوگرافی با ۲۵۸ منطقه همگن تهیه شد. در مرحله بعد، لایه‌های فیزیوگرافی و نقشه تیپ گیاهی گونه با هم ترکیب شدند و با استفاده از نقشه جدید بدست آمده و به صورت تصادفی، ۲۸۷ سایت مطالعاتی شامل ۱۰۶ مکان حضور و ۱۸۱ مکان عدم حضور ثبت گردید. در گام بعدی، مکان‌های رخداد حضور و غیاب گونه با بازدید صحرایی کنترل و صحت‌سنجی شدند. در هر یک از این مناطق همگن که پراکنش گون زرد به لحاظ فیزیونومی نسبتاً قابل ملاحظه و طبقات مختلف سنی گونه قابل مشاهده بود، مختصات آن به عنوان نقطه حضور گونه ثبت گردید. مناطق دیگر که گونه در آنها حضور نداشته و نیز مناطق با

لایه‌های عوامل محیطی

نقشه‌های پراکنش ۳۰ متغیر محیطی شامل سه متغیر فیزیوگرافی مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ متری (<http://srtm.csi.cgiar.org>)، ۸ متغیر خاک شامل pH، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، کربن آلی، سنگ و سنگریزه، شن، سیلت و رس از دانشگاه‌ها، ادارات منابع طبیعی و مراکز تحقیقات استان و ۱۹ متغیر زیست‌اقليمی (جدول ۱) مستخرج از پایگاه اقلیم جهانی (<https://www.worldclim.org>) با اندازه پیکسل یک کیلومترمربعی در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 تولید شدند.

بررسی نرمال بودن داده‌های مربوط به خصوصیات

فیزیکوشیمیایی خاک

جهت تولید لایه‌های مربوط به متغیر خاک، اطلاعات مربوط به ۴۲۷ پروفیل خاک حفر شده در استان از دانشگاه‌ها، ادارات

جدول ۱. توصیف متغیرهای زیست‌اقليمی

نمایه متغیر	توصیف متغیر	واحد اندازه‌گیری	نمایه متغیر	توصیف متغیر	واحد اندازه‌گیری
Bio1	میانگین دمای سالانه	°C	Bio11	میانگین دمای سردترین فصل	°C
Bio2	میانگین دامنه دمای روزانه	°C	Bio12	مجموع بارندگی سالانه	mm
Bio3	ایزوترمالمیتی	-	Bio13	مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه	mm
Bio4	تغییرات فصلی دما	-	Bio14	مجموع بارندگی کم بارش‌ترین ماه	mm
Bio5	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	°C	Bio15	تغییرات فصلی بارندگی	-
Bio6	حداقل دمای سردترین ماه	°C	Bio16	مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل	mm
Bio7	دامنه تغییرات سالانه دما	°C	Bio17	مجموع بارندگی کم بارش‌ترین فصل	mm
Bio8	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	°C	Bio18	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل	mm
Bio9	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	°C	Bio19	مجموع بارندگی سردترین فصل	mm
Bio10	میانگین دمای گرم‌ترین فصل	°C			

پرت برای رطوبت اشباع به کار رفت. در مواردی که نرمال‌سازی داده‌ها میسر نشد، از روش‌های غیر پارامتری زمین‌آمار استفاده گردید.

ترسیم واریوگرام و برازش مدل به واریوگرام

برای تحلیل و بررسی پیوستگی مکانی متغیرهای محیطی، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، مقدار واریوگرام (γ) هر متغیر در محیط نرم‌افزار GS+ 9.0 محاسبه و ترسیم شد. واریوگرام بر اساس مقادیر زوج نقاطی که در یک راستا با فاصله مشخصی از یکدیگر قرار گرفته‌اند، ترسیم می‌شود (۱۹). جهت برازش مدل واریوگرام به روش جک‌نایف، اقدام به برآورد پارامترهای واریوگرام گردید. بدین ترتیب که هر بار یکی از نقاط با ارزش معلوم از فرآیند برازش حذف شده و مقدار آن با استفاده از روش کریجینگ برآورد می‌گردد. سپس، صحت مدل واریوگرام برازش شده با شاخص مجذور میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, RMSE) بررسی می‌شود. هر چه میزان این شاخص به مقدار ایده‌آل آن یعنی صفر نزدیک‌تر باشد، مدل برازش شده بهتر است. شاخص RMSE بیانگر میزان انحراف مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر مشاهده شده می‌باشد و از رابطه (۱)

منابع طبیعی و مراکز تحقیقات استان جمع‌آوری شدند. به دلیل اینکه کاربرد روش‌های آمار مکانی در مدل‌های پیش‌بینی روشگاه گونه‌های گیاهی از ضروریات اجتناب‌ناپذیر است، جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خصوصیات خاک از اطلاعات نقطه‌ای اندازه‌گیری شده تحت روش‌های مختلف میانمایی شامل کریجینگ و روش معکوس وزنی فاصله استفاده شد. علیرغم اینکه روش‌های آمار غیرپارامتریک، به نرمال بودن داده‌ها حساس نمی‌باشند، تعیین توزیع آماری داده‌ها اولین گام در مطالعات مدل‌سازی می‌باشد، زیرا اگر داده‌ها فاقد توزیع نرمال باشند، فرضیات ایستایی، پایدار نخواهند بود و امکان بروز خطا در فرآیند تخمین افزایش می‌یابد. در این مطالعه جهت بررسی توزیع نرمال داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف ($\alpha=0/05$) در نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد. به استثنای درصد سیلت، سایر متغیرهای خاکی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کردند که بر اساس نوع چولگی، از روش تبدیل ریشه دوم، تبدیل لگاریتمی و باکس-کاکس برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. مابقی متغیرها به استثنای pH، دارای چولگی به راست بودند. تبدیل ریشه دوم برای درصد رس، تبدیل لگاریتمی برای کربن آلی، هدایت الکتریکی، شن و pH و تبدیل باکس-کاکس برای سیلت و درصد سنگریزه و حذف داده‌های

محاسبه می‌شود:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\} \quad (3)$$

رویکردهای ساخت مدل

پس از آماده‌سازی متغیرهای مستقل، مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه به روش CART در محیط نرم‌افزار Statistica انجام شد. برای دستیابی به نتایج مطلوب در انتخاب عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌ها طبق قاعده صرفه‌جویی باید سعی کرد تعداد متغیرها را کاهش داد و آنهایی را انتخاب کرد که بیشترین تأثیر را بر پراکنش گونه دارند، به علاوه نباید بین متغیرها همبستگی وجود داشته باشد، زیرا سبب بروز مشکلاتی چون برازش بیش از حد مدل و هم‌خطی بودن می‌شود (۵). در این مطالعه از دو رویکرد جهت مدل‌سازی استفاده شد:

رویکرد ۱- در این رویکرد همه متغیرها برای ساخت مدل CART، مورد استفاده قرار گرفتند.

رویکرد ۲- در این رویکرد، از میان ۳۰ متغیر اولیه، تنها متغیرهای مهم و تأثیرگذار با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و ماتریس همبستگی در محیط نرم‌افزار Minitab 16 انتخاب شدند.

مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART)

مدل طبقه‌بندی درختی CART نوعی مدل متمایز کننده گروهی و نیازمند داده‌های حضور و غیاب است که برای تحلیل داده‌های پیچیده اکولوژیکی ایده‌آل و مناسب می‌باشد. این تکنیک درخت تصمیم را بر اساس الگوریتم دسته‌بندی دودویی بازگشتی رشد می‌دهد. درخت به صورت گرافیکی با گره ریشه در بالا و گره‌های شاخه و برگ در پایین نشان داده می‌شود که این موضوع به درک و تفسیر روابط کمک می‌کند (۱۱). در روش CART، مدل‌سازی در سه مرحله اصلی شامل تشکیل ریشه درخت، ساخت درخت توقف، و هرس درخت برای طبقه‌بندی قابل پیاده‌سازی است (۳۰).

الگوریتم‌های درخت تصمیم فاقد هر گونه پیش‌فرض در خصوص رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته هستند و انواع

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Z^*(x_i) - Z(x_i)}{n}} \quad (1)$$

که در آن، n تعداد نقاط نمونه‌برداری، $Z^*(x_i)$ مقدار متغیر مشاهده شده در محل هر نقطه نمونه‌برداری در نقشه‌های تهیه شده (مقدار پیش‌بینی شده) و $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نمونه واقعی می‌باشد (۲۴).

ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها

برای بیان استحکام ساختار فضایی یک متغیر می‌توان از نسبت $\frac{c}{c_0}$ استفاده کرد. این نسبت در واقع بیانگر بزرگی مؤلفه ساختاردار (تفاضل مقدار آستانه و اثر قطعه‌ای) نسبت به مؤلفه بدون ساختار (اثر قطعه‌ای) واریوگرام می‌باشد. همچنین، می‌توان از شاخص $\frac{c_0}{c+c_0}$ استفاده کرد که بیانگر نسبت اثر قطعه‌ای (c_0) به حد آستانه ($c+c_0$) و در واقع معرف آن است که چه مقدار از کل تغییرپذیری را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند. اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، ساختار مکانی متغیر مورد نظر قوی است، ۰/۷۵-۰/۲۵ ساختار مکانی متوسط و بزرگتر از ۰/۷۵، ساختار مکانی ضعیف را نشان می‌دهد (۲۴).

به منظور تولید نقشه پراکنش مکانی متغیرهای خاک، در صورت نرمال بودن داده‌ها و عدم وجود اثر قطعه‌ای تام، از روش پارامتری کریجینگ (ساده، معمولی، جهانی) با مدل‌های واریوگرام دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی استفاده شد و علاوه بر میانگین مجذور مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error, MAE) و میانگین انحراف خطا (Mean Bias Error, MBE) طبق معادله‌های (۲) و (۳) برای انتخاب بهترین روش میانبایی به‌کار رفتند. در صورت وجود اثر قطعه‌ای تام و یا نرمال نبودن داده‌ها، از روش غیر پارامتریک وزن‌دهی معکوس فاصله استفاده گردید.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{|Z^*(x_i) - Z(x_i)|\} \quad (2)$$

معمولاً برای تبدیل مدل احتمالاتی به مدل فازی به کار می‌رود (۴۵).

$$Kappa = \frac{p_0 p_e}{1 - p_e} \quad (۶)$$

$$p_0 = \frac{a + d}{n} \quad (۶-۱)$$

$$p_e = \left(\frac{a + b}{n} \right) \left(\frac{a + c}{n} \right) + \left(\frac{c + d}{n} \right) \left(\frac{b + d}{n} \right) \quad (۶-۲)$$

$$TSS = (Sensitivity + Specificity) - 1 \quad (۷)$$

$$Sensitivity = \frac{a}{a + c} \quad (۷-۱)$$

$$Specificity = \frac{d}{d + b} \quad (۷-۲)$$

در روابط فوق، عنصر a ، تعداد نقاطی است که هم در واقعیت و هم در پیش‌بینی مدل به عنوان حضور ثبت شده‌اند. عنصر b ، تعداد نقاطی که در واقعیت و در مدل رخ نداده‌اند. عنصر c ، تعداد نقاطی که گونه در واقعیت حضور دارد ولی مدل آن را پیش‌بینی نکرده است و عنصر d نیز تعداد نقاطی است که مدل آنها را به عنوان حضور در نظر گرفته، اما در واقعیت رخ نداده‌اند. عناصر c (منفی کاذب) و d (مثبت کاذب) به ترتیب خطای نوع اول و خطای نوع دوم نام دارند (۵).

علاوه بر TSS (رابطه ۷)، شاخص دیگر برای تعیین احتمال قدرت تشخیص مدل میان نقاط حضور و عدم حضور مدل، سطح زیر منحنی پلات‌های ROC است که اصطلاحاً AUC (Area Under the Curve) نامیده می‌شود و با پلات کردن حساسیت (رابطه ۷-۱) در مقابل یک منهای ویژه‌نگاری (رابطه ۷-۲) نسبت به همه خطوط آستانه حاصل می‌شود. مطابق طبقه‌بندی سوئیس (۴۰) مقادیر AUC بزرگتر از ۰/۹ صحت بالا، مقادیر ۰/۹-۰/۷ صحت خوب و ۰/۷-۰/۵ صحت کم مدل را نشان می‌دهند. در رابطه ۸، صحت کلی (CCR) نسبت تعداد نمونه‌های به درستی پیش‌بینی شده به تعداد کل نمونه‌ها (n) برای تست می‌باشد و مقدار بیشتر آن حاکی از دقت بالای مدل است (۵).

$$CCR = \frac{a + b}{n} \quad (۸)$$

شاخص‌های ارزیابی داده‌های مدل و داده‌های مستقل از مدل با

مختلفی دارند که در این پژوهش از مدل CART به عنوان الگوریتم مقایسه‌ای استفاده شد. در این درخت، ابتدا همه داده‌ها در گره ریشه و در بالا وجود دارند. سپس بر اساس متغیری که می‌تواند بیشترین همگنی را برای هر شاخه ایجاد کند، انشعاباتی در ریشه به وجود می‌آید. این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا داده‌های هر گره بیشترین همگنی را داشته باشند و به یک دسته خاص تعلق گیرند. گره‌ای که در انتها قرار می‌گیرد و از آن انشعابی ایجاد نمی‌شود، گره نهایی یا برگ نامیده می‌شود (۱۰). در الگوریتم CART جهت انتخاب متغیر مورد آزمون از معیار انحراف حداقل مربعات با توجه به رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$SS(t) = \sum_{i=1}^{N_i} (y_i(t) - \bar{y}(t))^2 \quad (۴)$$

در رابطه فوق، $SS(t)$ مجموع مربعات کل، N_i تعداد رکوردها در گره t ، $y_i(t)$ مقدار متغیر هدف در گره t ، و $\bar{y}(t)$ میانگین مقادیر متغیر هدف در گره t می‌باشد. یک متغیر ورودی زمانی به عنوان بهترین صفت برای ایجاد شاخه در گره t به کار می‌رود که تابع زیر بیشینه شود:

$$Q(X, t) = SS(t) - [SS(t_R) + SS(t_L)] \quad (۵)$$

در تابع $Q(X, t)$ ، متغیرهای $SS(t_R)$ و $SS(t_L)$ به ترتیب میزان $SS(t)$ در شاخه سمت راست و چپ گره t می‌باشند (۴۴).

ارزیابی مدل

در روش ارزیابی مدل با داده‌های مستقل، از ۵۰ داده انتخاب شده به صورت تصادفی شامل ۲۵ نقطه حضور و ۲۵ نقطه غیاب استفاده شد. متداول‌ترین معیار ارزیابی مدل‌های پراکنش گونه‌ای، استفاده از ماتریس خطا (یک ماتریس تقاطعی 2×2 با عناصر a ، b ، c و d) و شاخص‌های آماری مشتق شده از آن می‌باشد. ضریب کاپا (رابطه ۶)، شاخصی آماری برای نشان دادن میزان توافق بین مقادیر مشاهده‌ای (رابطه ۶-۱) و پیش‌بینی شده (رابطه ۶-۲) است. حداکثر مقدار این شاخص برابر یک و به معنی توافق کامل بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی می‌باشد. بهترین حد آستانه از مقدار حداکثر کاپا حاصل می‌شود که

آلی، درصد سنگ و سنگریزه و شن با روش غیر پارامتریک معکوس وزنی فاصله و برای متغیرهای رطوبت اشباع و سیلت با استفاده از روش کریجینگ جهانی و متغیر رس، کریجینگ ساده تعیین گردید. نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف میانبایی در جدول ۲ آمده است.

نتایج حاصل از مدلسازی پراکنش مکانی گونه گون زرد

انتخاب متغیرهای محیطی

با توجه به اینکه مدل CART فاقد روش معین جهت انتخاب متغیرها در فرآیند مدلسازی می‌باشد، به منظور انتخاب مهمترین متغیرهای پیش‌بینی کننده در مدلسازی پراکنش گونه، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی ۳۰ متغیر محیطی اولیه اعمال شد. سه محور اول مؤلفه‌های اصلی ۷۲ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند که به ترتیب سهم محور اول ۵۴/۷ درصد، محور دوم ۱۱/۵ درصد و محور سوم حدود ۶ درصد می‌باشد (جدول ۳). با توجه به ارزش مقادیر ویژه حاصل از این آنالیز (جدول ۴)، میانگین دما در خشک‌ترین فصل (Bio9)، رس و کربن آلی معرف محور اول، میانگین دما در سردترین فصل (Bio11)، حداقل دما در سردترین ماه (Bio6) و رطوبت اشباع معرف محور دوم و میانگین دمای سالانه (Bio1)، بارندگی در خشک‌ترین فصل (Bio17) و بارندگی در گرمترین فصل (Bio18) به عنوان معرف محور سوم شناخته شدند. سپس، بر اساس آنالیز همبستگی از بین هر دو متغیری که دارای همبستگی بیش از ۸۰ درصد بودند، به دلیل اینکه اطلاعات یکسانی را منتقل می‌کنند، یکی از آنها حذف شدند. بر این اساس متغیرهای مهم به ترتیب عبارتند از: درصد رس، میانگین دما در سردترین فصل (Bio11)، میانگین فصل (Bio9)، حداقل دما در سردترین ماه (Bio6)، میانگین دمای سالانه (Bio1)، رطوبت اشباع، کربن آلی.

نقشه پراکنش مکانی رویشگاه بالقوه گونه

پس از اجرای مدل، بر اساس تفسیر درخت و توابع ریاضی حاصله،

استفاده از برنامه (Model Evaluation Program, MEP) محاسبه شدند (۴۱).

نتایج

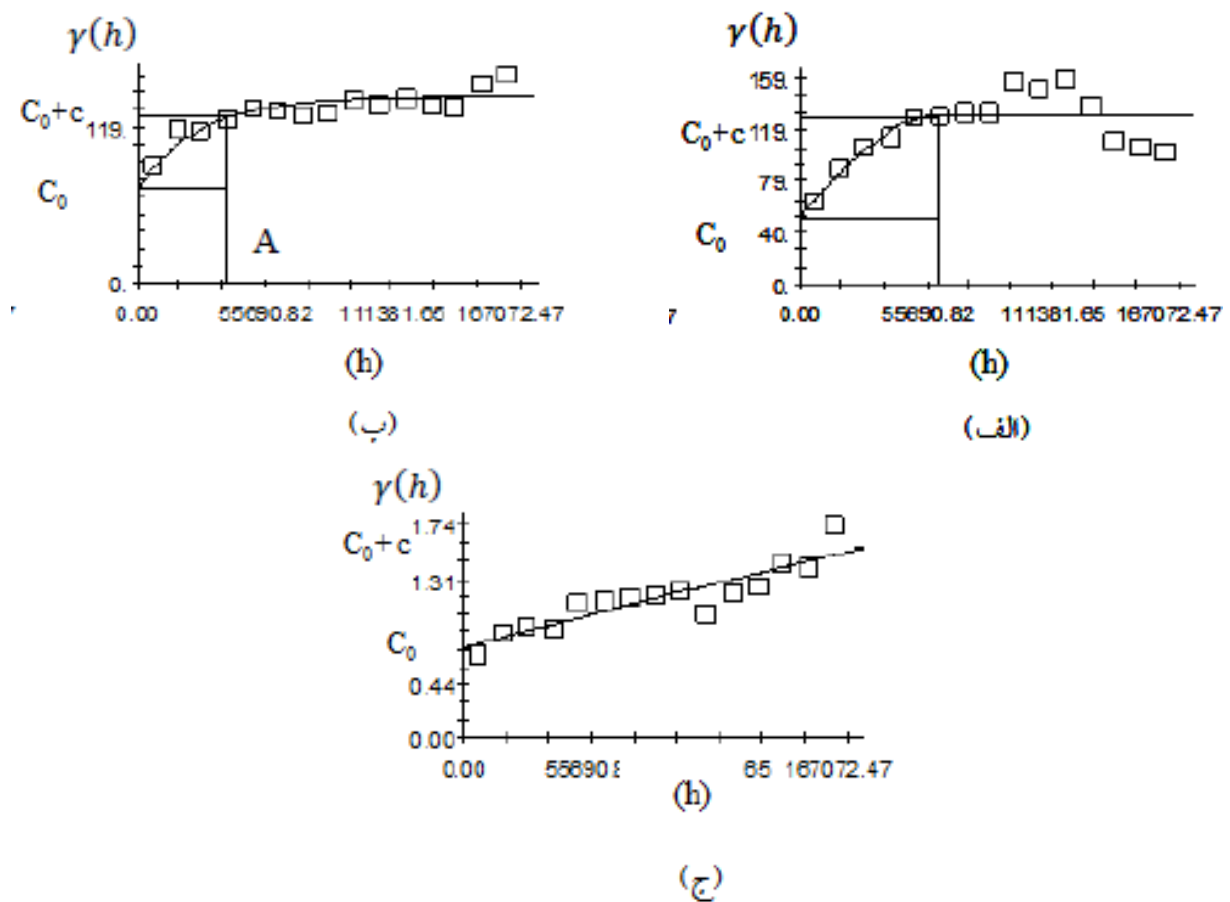
برازش واریوگرام و آنالیز همبستگی مکانی

پس از ترسیم واریوگرام‌ها و برازش رویه آنها در جهات مختلف، نوع توزیع واریوگرام‌ها به منظور تشخیص همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی مشخص گردید. با توجه به تقارن واریوگرام‌های سطحی، متغیرهای مورد نظر در منطقه مورد مطالعه، از توزیع همسانگرد یا مستقل از جهت برخوردارند. بر اساس مقادیر بهینه RMSE حاصل از برازش واریوگرام برای متغیرهای سیلت، رطوبت اشباع و رس که به ترتیب برابر ۸/۹۱، ۰/۶۷ و ۱ بدست آمدند، مدل واریوگرام سیلت و رس کروی و رطوبت اشباع، نمایی تعیین شد. همانگونه که در شکل ۲-الف ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نسبت به دامنه تأثیر A_0 (۶۱۱۰۰ متر مقدار واریوگرام (γ) تغییر معنی‌داری نمی‌کند و با در نظر گرفتن حد آستانه $(c+c_0)$ ۱۳۲ متر و اثر قطعه‌ای (c_0) ۵۳ متغیر درصد سیلت دارای ساختار مکانی متوسط در محدوده دامنه تأثیر می‌باشد. به عبارت دیگر، می‌توان بیان داشت که بعد از فاصله ۶۱۱۰۰ متری همبستگی بین نقاط صفر می‌گردد. مدل واریوگرام درصد رطوبت اشباع، در دامنه تأثیر ۲۶۵۰۰ متر، با حد آستانه ۱۴۲/۷ و اثر قطعه‌ای $71/30$ دارای ساختار مکانی متوسط می‌باشد (شکل ۲-ب). مدل واریوگرام درصد رس نیز در دامنه تأثیر ۴۱۱۰۰۰ متر، با حد آستانه ۲/۱۰ و اثر قطعه‌ای $0/73$ دارای ساختار مکانی متوسط می‌باشد (شکل ۲-ج).

انتخاب روش میانبایی جهت تولید نقشه‌های پراکنش مکانی

متغیرهای خاک

با توجه به نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل، بهترین روش میانبایی برای هر متغیر محیطی مشخص شد. بدین منظور تهیه نقشه پراکنش مکانی متغیرهای pH، هدایت الکتریکی، کربن



شکل ۲. مدل واریوگرام برازش داده شده بر مدل واریوگرام تجربی درصد (الف) سیلت، (ب) رطوبت اشباع و (ج) رس. در این شکل، γ بیانگر مقدار واریوگرام، h فاصله به متر، C_0 اثر قطعه‌ای و $(c+C_0)$ آستانه می‌باشد.

جدول ۲. نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل و انتخاب بهترین روش میانمایی متغیرهای خاک

متغیر	واحد اندازه‌گیری	روش میانمایی	MAE	MBE
pH	-	معکوس وزنی فاصله	۱/۱۵	۰/۰۹
هدایت الکتریکی (EC)	دسی‌زیمنس بر متر	معکوس وزنی فاصله	۰/۲۶	-۰/۰۱
رطوبت اشباع (SP)	درصد	کریجینگ جهانی	۰/۸۸	۰/۰۱
کربن آلی (OC)	درصد	معکوس وزنی فاصله	۰/۳۴	۰/۰۰۰۸
شن (Sand)	درصد	معکوس وزنی فاصله	۹/۴۸	-۰/۱۲
سیلت (Silt)	درصد	کریجینگ جهانی	۶/۸۷۶	۰/۱۰
رس (Clay)	درصد	کریجینگ ساده	۰/۷۲	۰/۰۲
سنگ و سنگریزه (G)	درصد	معکوس وزنی فاصله	۰/۴۸	۰/۰۰۵

اندازه پیکسل یک کیلومتر مربع تولید شد. ارزش پیکسل‌های نقشه نهایی در دامنه ۰-۱ به صورت پیوسته تغییر می‌کند که برای نمایش بهتر به ۴ گروه (عالی، خوب، متوسط و ضعیف)

نقشه روشگاه گونه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی از فضای ریاضی به فضای اکولوژیک تعمیم یافت و نقشه پراکنش مکانی روشگاه بالقوه گونه در نیمه غربی استان اصفهان با

جدول ۳. ارزش بردارهای ویژه و درصد واریانس محورهای حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

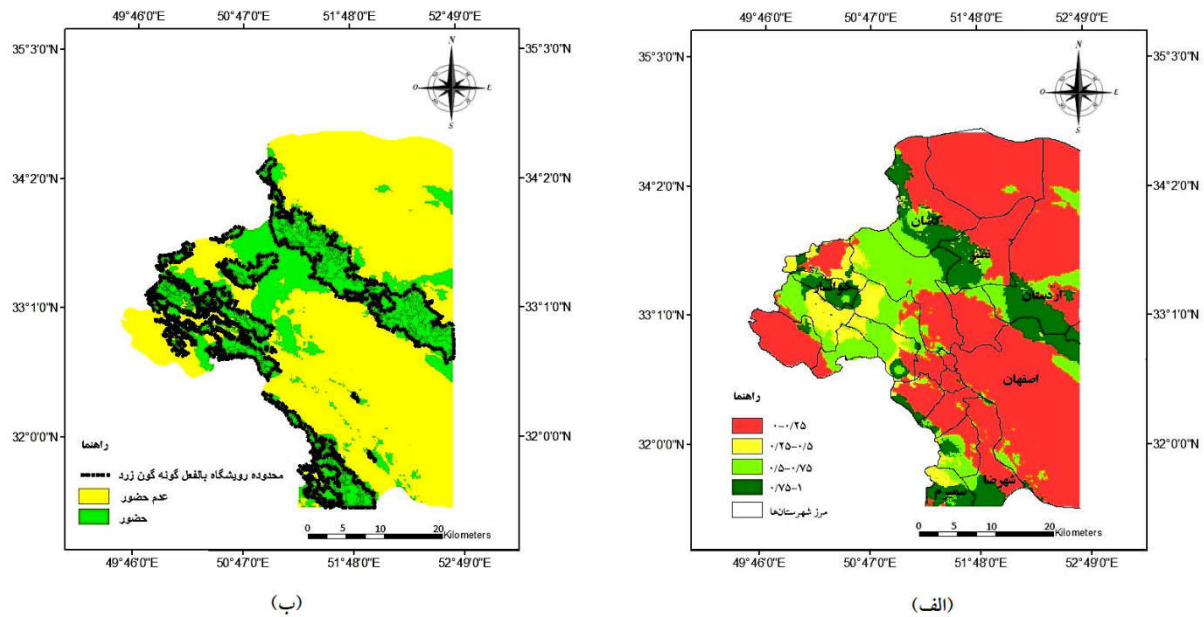
محور	PCA1	PCA2	PCA3
مقدار ویژه	۱۶/۳۹۷	۳/۴۴۵	۱/۸۳۳
درصد واریانس	۵۴/۷۲۱	۱۱/۵۱۱	۶/۱۴۲
درصد واریانس تجمعی	۵۴/۷۲۱	۶۶/۲۳۲	۷۲/۳۷۴

جدول ۴. مقادیر ویژه حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

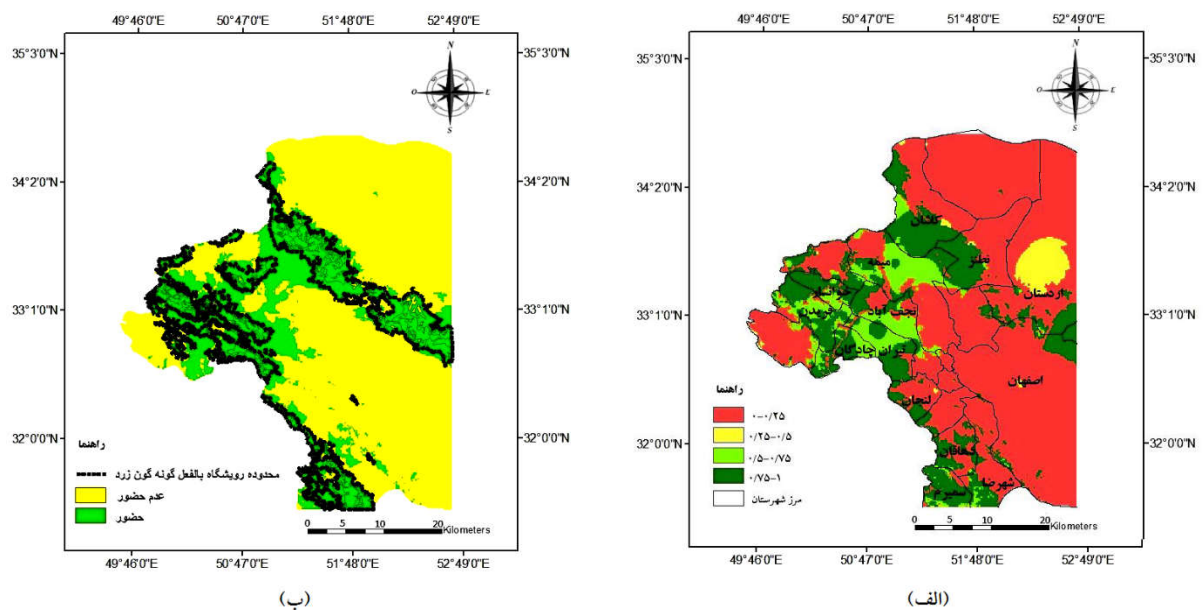
متغیر مستقل	PCA1	PCA2	PCA3	متغیر مستقل	PCA1	PCA2	PCA3
Bio1	-۰/۰۰۱	-۰/۱۹۰	-۰/۲۲۸	Bio 16	۰/۲۰۶	-۰/۱۰۶	۰/۲۱۷
Bio2	-۰/۱۲۵	-۰/۱۰۴	۰/۱۹۴	Bio 17	۰/۰۷۶	۰/۰۲۸	۰/۲۳۴
Bio3	-۰/۱۸۰	-۰/۱۶۱	۰/۲۰۸	Bio 18	۰/۰۲۳	۰/۱۱۹	۰/۲۳۵
Bio 4	۰/۰۰۳	۰/۲۲۹	-۰/۱۹۸	Bio 19	۰/۱۹۴	-۰/۱۶۵	۰/۲۲۱
Bio 5	-۰/۰۱۵	-۰/۱۴۶	-۰/۲۱۳	Slope	۰/۱۰۰	۰/۱۰۸	۰/۱۳۲
Bio 6	۰/۰۳۷	-۰/۲۶۲	-۰/۲۱۳	Dem	-۰/۰۷۴	۰/۲۰۴	۰/۱۲۴
Bio7	-۰/۱۹۷	۰/۱۵۳	-۰/۰۵۷	Aspect	-۰/۲۳۹	۰/۰۲۷	-۰/۰۰۵
Bio 8	-۰/۱۴۸	-۰/۰۵۸	-۰/۲۲۲	Clay	-۰/۳۲۸	-۰/۲۱۴	۰/۱۴۸
Bio 9	۰/۳۲۲	-۰/۱۸۴	-۰/۲۰۷	Silt	-۰/۳۱۷	-۰/۰۹۰	۰/۱۲۴
Bio 10	-۰/۰۰۵	-۰/۱۴۶	-۰/۲۱۴	Sand	۰/۱۱۸	۰/۱۵۲	-۰/۱۸۲
Bio 11	-۰/۰۰۶	-۰/۲۵۱	-۰/۲۱۵	OC	-۰/۳۶۰	-۰/۰۷۰	۰/۱۴۷
Bio 12	۰/۱۸۱	-۰/۱۰۲	۰/۲۱۱	SP	-۰/۱۵۱	-۰/۳۳۱	۰/۱۳۳
Bio 13	۰/۲۴۴	-۰/۱۲۴	۰/۲۱۷	EC	۰/۰۷۷	-۰/۰۲۱	-۰/۱۰۱
Bio 14	۰/۰۶۷	-۰/۰۸۰	۰/۰۰۷	pH	-۰/۱۳۴	-۰/۱۹۹	-۰/۰۰۱
Bio 15	۰/۲۰۶	-۰/۰۰۹	۰/۰۵۵	G	-۰/۲۶۴	۰/۱۳۸	-۰/۱۴۶

طبقه‌بندی شد. در رویکرد اول مدل‌سازی (شکل ۳)، بیشترین سطح منطقه متعلق به احتمال رخداد ۰-۰/۲۵ و رویشگاه ضعیف می‌باشد که ۶۱/۴۵ درصد از مساحت منطقه را در بر می‌گیرد. طبقات متوسط، خوب و عالی رویشگاه نیز به ترتیب ۶/۳۴، ۱۸/۳۶ و ۱۳/۸۵ درصد از سطح منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس آستانه اپتیمم (آستانه‌ای که بیشترین میزان کاپا را نشان می‌دهد) حاصل از ارزیابی مدل معادل ۴۱ درصد، نقشه فازی رویشگاه گونه تعیین شد و مطابق آن، گونه در ۱۹۷۲۴۵۲ هکتار یعنی ۳۲/۲۱ درصد از سطح منطقه حضور دارد.

در رویکرد دوم (شکل ۴)، بیشترین احتمال حضور گونه (احتمال رخداد ۰-۰/۷۵)، مساحت ۲۲/۰۵ درصد را به خود اختصاص داده و به شهرستان‌های خوانسار، کاشان، نطنز، اردستان، سمیرم، شهرضا، فریدن، چادگان، دهاقان، لنجان و بخش‌هایی از توابع شهر اصفهان تعلق دارد. طبقات ضعیف، متوسط و خوب رویشگاه به ترتیب ۶۶/۵، ۲/۹۸ و ۸/۴۷ درصد از سطح منطقه را می‌پوشانند. بر اساس نقشه فازی، رویشگاه بالقوه گونه ۲۱۱۵۷۶۰ هکتار و معادل ۳۴/۵ درصد از سطح منطقه را می‌پوشاند.



شکل ۳. (الف) نقشه طبقات شایستگی و (ب) نقشه فازی رویشگاه گونه با استفاده از مدل CART در صورت استفاده از تمام متغیرها (محدوده تیپ گون زرد به نقشه اضافه شده است).



شکل ۴. (الف) نقشه طبقات شایستگی و (ب) نقشه فازی رویشگاه گونه با استفاده از مدل CART در صورت استفاده از متغیرهای مؤثر (محدوده تیپ گون زرد به نقشه اضافه شده است).

ارزیابی مدل
 ۰/۷۷ و ۰/۷۵ می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی لندیس دارای تطابق خوب و با در نظر گرفتن سطح زیر منحنی پلات‌های ROC به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۹۵، دارای تطابق عالی با واقعیت زمینی هستند.

ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های مدل (روش جایگزینی) و داده‌های مستقل تحت هر دو رویکرد در جدول ۵ نشان داده شده است. ضریب کاپا در مدل‌های پیش‌بینی شده به ترتیب

جدول ۵. داده‌های مربوط به ارزیابی مدل CART به روش جایگزینی و روش استفاده از داده‌های مستقل

رویکرد دوم		رویکرد اول		شاخص
داده‌های مستقل	روش جایگزینی	داده‌های مستقل	روش جایگزینی	
۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۸۸	۰/۷۷	کاپای ماکزیمم
۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۶	سطح زیر منحنی پلات‌های ROC
۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۸۹	صحت کلی
۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۸۲	حساسیت
۰/۹۱	۰/۹۳	۱	۰/۹۴	ویژه‌انگاری
۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۸۹	۰/۷۶	TSS

بحث

که بیش از نیمی از این دست مطالعات تنها بر اساس عوامل آب و هوایی مانند دما و بارش بررسی شدند و به طور بالقوه چندین جنبه دیگر از عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی مانند توپوگرافی و خاک را نادیده گرفتند.

در محاسبه واریوگرام متغیرهای خاک در این مطالعه، هیچ علائمی از ناهمسانگردی مشاهده نشد. در واقع، توزیع همسانگرد متغیرها نشان می‌دهد که مقدار واریوگرام به فاصله بین مقادیر آن متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه وابسته است، اما به جهت وابسته نیست. بر اساس مقادیر بهینه RMSE، مدل واریوگرام سیلت و رس کروی و رطوبت اشباع، نمایی تعیین شدند. پیری صحراگرد و پیری (۳۱) در تحلیل مکانی خصوصیات خاک مراتع شهرستان خاش، همچنین اسدزاده و همکاران (۶) جهت پهنه‌بندی بافت خاک در شرق آذربایجان شرقی، مدل‌های ناهمسانگرد کروی را برای درصد سیلت و رس خاک در دو لایه سطحی و عمقی خاک بدست آوردند. توزیع نمایی رطوبت اشباع خاک در مطالعه هاشمی و همکاران (۲۰) و جعفریان و شعبانزاده (۲۲) تأیید شد. بررسی ضریب تغییرات مکانی متغیرهای سیلت، رس و درصد رطوبت اشباع نشان داد که این سه متغیر خاکی از ساختار مکانی متوسط برخوردار بودند. ساختار مکانی متوسط رس و سیلت با نتایج مطالعه اصغری و همکاران (۷) و آقایی‌پور و همکاران (۱) مطابقت دارد. برای متغیرهایی چون pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، درصد سنگ و سنگریزه به دلیل وجود اثر قطعه‌ای نام و عدم وجود ساختار مکانی، بجای تخمین‌گرهای پارامتریک

با استناد به نتایج آنالیز حساسیت و در نظر داشتن موقعیت مکانی رویشگاه و نیز نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی در رویشگاه‌های مختلف، علاوه بر عوامل اقلیمی، ترکیب‌های مختلفی از خصوصیات زمین نظیر عوامل خاکی و توپوگرافی در پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی تأثیرگذار هستند. لذا در پژوهش حاضر اهمیت متغیرهای مذکور در پراکنش گونه گون زرد در مراتع غرب اصفهان با استفاده از مدل CART بررسی شد. بر اساس نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی، در مجموع متغیرهای زیست‌اقلیمی نسبت به متغیرهای خاکی اهمیت بیشتری در پراکنش گونه داشتند. این امر را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک استقرار پوشش گیاهی و رشد آن عمدتاً تحت تأثیر شرایط اقلیمی به ویژه رطوبت می‌باشد و در مرحله بعدی تحت تأثیر عوامل خاکی قرار می‌گیرد. البته عوامل خاکی خود متأثر از توپوگرافی می‌باشند (۲۱). خصوصیات فیزیکی خاک مانند بافت آن از تعامل پویا بین عوامل طبیعی مانند شرایط خرد اقلیم، تیپ‌های گیاهی و جهت جغرافیایی منتج می‌شود (۳۹). در مطالعه هیگر و همکاران (۱۸) مشخص شد که توانایی پیش‌بینی مدل‌های پراکنش واسنجی شده با داده‌های اقلیم و خاک، بهتر از واسنجی تنها با متغیرهای اقلیمی می‌باشد. از دیدگاه تئوری اکولوژیکی نیز تأکید بر این است که عوامل مختلف محیطی به ویژه دما، آب، نور، مواد غذایی، برهمکنش‌های زیست‌محیطی و اختلالات موجب پراکنش گونه‌ای می‌شوند (۲۹). در صورتی

خاک بوده و در نتیجه سبب افزایش تخلخل و قابلیت نفوذ آب در خاک می‌شوند. به علاوه، مواد آلی سرشار از ازت هستند و به دلیل قابلیت جذب سطحی، نقش قابل توجهی در نگهداری عناصر تبادل‌ی و در اختیار گذاشتن آنها ایفا می‌کنند (۱۷). علی‌اکبری و همکاران (۲) و صفائی و همکاران (۳۵) در مطالعات خود به رطوبت اشباع به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر پراکنش گون زرد اشاره کردند. دلیل متفاوت بودن پارامترهای اثرگذار در مطالعات مختلف ممکن است ناشی از برخی عوامل نظیر شرایط محیطی، مقیاس مورد مطالعه و نیز در نظر گرفتن پارامترهای همبسته و جانشین باشد. در این خصوص علی‌اکبری و همکاران (۳) درصد آهک، جهت شیب و میانگین بارش سالانه را مؤثر دانسته اما طیموری اصل و همکاران (۴۲) شاخص ایزوترمالتی، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل و تغییرات فصلی بارندگی را مهمترین فاکتورهای مؤثر بر پراکنش این گونه گیاهی دانستند.

اهمیت میانگین دمای سالانه (Bio1) در مطالعات صفائی و همکاران هم با استفاده از مدل ENFA (۳۴) و هم با استفاده از مدل NPMR (۳۵) و همچنین در مطالعه شیخ‌زاده و همکاران (۳۸) تأیید شد. در مطالعه ساکی و همکاران (۳۷) نیز مانند مطالعه حاضر، مشخص شد که متغیرهای دمایی نسبت به بارندگی نقش مهمتری در پراکنش بالقوه گون زرد ایفا می‌کنند. همسو با یافته‌های این پژوهش، خداقلی و صوحی (۲۵) در بررسی تأثیر تغییر متغیرهای اقلیمی بر رویشگاه‌های گون زرد در استان اصفهان، دمای سرمایشی شامل حداقل دما در سردترین ماه (Bio6) و میانگین دما در سردترین فصل (Bio11) را مهمترین عوامل مؤثر بر رویش گون زرد تعیین نمودند. با توجه به اینکه گون زرد معمولاً در ارتفاعات بالا رشد می‌کند، به دلیل کاهش درجه حرارت هوا در ارتفاعات به خصوص در ماه سرد سال، فصول سرد و خشک تأثیر زیادی بر فنولوژی گونه مربوطه دارد.

ارزیابی مدل با مجموعه داده‌های مستقل به جای استفاده از روش جایگزینی به منظور اجتناب از مشکل بیش‌برآوردی، بیانگر تطابق عالی آن با واقعیت زمینی بود. در واقع، خروجی مدل CART بیانگر میزان تشابه شرایط محیطی هر سلول نسبت

از تخمین‌گرهای غیرپارامتریک نظیر معکوس وزنی فاصله جهت میانبایی استفاده شد. آقایی‌پور و همکاران (۱) روش معکوس وزنی فاصله را برای متغیرهای ماده آلی و اسیدیته دارای دقت بیشتر و خطای کمتری گزارش نمودند. محققین همچنین این روش را برای ویژگی‌های هدایت الکتریکی و شن مناسب دانستند. در این مطالعه، به دلیل بالا نبودن مقدار اثر قطعه‌ای و در نتیجه ضعیف نبودن ساختار مکانی متغیرهای سیلت، رس و رطوبت اشباع، کریجینگ توانست بر اساس مدل برازش داده شده، برآورد صحیحی انجام دهد. غلامی و همکاران (۱۶) روش کریجینگ را جهت پهنه‌بندی متغیرهای سیلت و رس و سعدی‌پور و همکاران (۳۳) نیز این تخمین‌گر را برای درونبایی پارامتر هدایت الکتریکی، روش با خطای کمتری اعلام کردند. از بین خصوصیات بررسی شده خاک، درصد رس در مقایسه با میزان رطوبت اشباع و کربن آلی در پراکنش گون زرد مؤثرتر بود. در مطالعات پیشین نیز مشخص شد که در یک منطقه مشخص آب و هوایی، بافت خاک در مقایسه با خصوصیات شیمیایی تأثیر بیشتری بر رشد و تجدید حیات موفقیت‌آمیز گیاهان دارد (۳۳). گونه مورد مطالعه در خاک‌های با بافت متوسط که درصد رس بیشتری نسبت به شن دارند، رشد بهتری دارد (۴۶).

اهمیت درصد رس موجود در خاک بر پراکنش گون زرد در مطالعات صفائی و همکاران با استفاده از مدل‌های NPMR (Nonparametric Multiplicative Regression) (۳۵) و رگرسیون لجستیک (۳۶) و مطالعه ساکی و همکاران با استفاده از مدل LRT (۳۷) نیز مشخص شد. محققین اظهار داشتند که با افزایش میزان رس به عنوان جزئی از بافت خاک، حضور گونه ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. رس و کربن آلی در تأمین رطوبت خاک و مواد غذایی برای گیاه نقش مؤثری دارند (۳۷). تأثیر کربن آلی بر پراکنش این گونه با نتایج یافته‌های فتاحی و همکاران (۱۲) همخوانی دارد. ساکی و همکاران (۳۷) نیز ادعان داشتند که با افزایش کربن آلی در خاک، حضور گونه افزایش می‌یابد. کربن آلی و ماده آلی عامل اصلی شکل‌گیری ساختمان

اساس نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، تمام متغیرهای خاک به استثنای درصد سیلت، فاقد توزیع نرمال بودند که با انجام تبدیل‌های مختلف آماری نرمال شدند. برای متغیرهای هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، درصد شن و سنگ و سنگریزه که تبدیل داده بر روی آنها بی‌نتیجه بود، روش معکوس وزنی فاصله به منظور میانجی‌بندی و نقشه‌برداری به کار رفت. پس از ترسیم واریوگرام مشخص شد که نوع توزیع متغیرهای درصد سیلت، رس و رطوبت اشباع از نوع همسانگرد و کلاس وابستگی آنها متوسط بود. ارزیابی نتایج مدلسازی به هر دو روش جایگزینی و استفاده از داده‌های مستقل، حاکی از این بود که مدل CART در آستانه انتخاب شده از توانایی بالایی در پیش‌بینی پراکنش مکانی گون زرد برخوردار بود. علیرغم مقادیر بالای شاخص‌های ارزیابی در رویکرد استفاده از تمامی متغیرها، جهت جلوگیری از برازش بیش از حد مدل و هم‌خطی بودن، رویکرد استفاده از متغیرهای مهم و تأثیرگذار شامل درصد رس، میانگین دمای سردترین فصل (Bio11)، میانگین دمای خشک‌ترین فصل (Bio9)، حداقل دما در سردترین ماه (Bio6)، میانگین دمای سالانه (Bio1)، رطوبت اشباع و کربن آلی پیشنهاد می‌شود. بر اساس نقشه فازی در این رویکرد، رویشگاه بالقوه گونه حدود ۳۴/۵ درصد از سطح منطقه را می‌پوشاند. همچنین، حداکثر و حداقل احتمال حضور گونه به ترتیب ۲۲/۰۵ درصد و ۶۶/۵ درصد از سطح منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. مدل پیش‌بینی رویشگاه را می‌توان برای شناسایی مناطق مستعد جهت معرفی مجدد و یا تقویت گونه گون زرد استفاده نمود و به نحوی در برنامه‌های حفاظتی، تنوع زیستی، اصلاح و احیای مراتع و پیش‌بینی پراکنش گونه تحت تغییر اقلیم به کار برد.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب تشکر و سپاس خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان به سبب فراهم نمودن امکانات جهت برداشت میدانی و جمع‌آوری نقاط رخداد گونه اعلام می‌دارند.

به سلول‌هایی می‌باشد که گونه در آنها رخ داده است. نکته‌ای که بایستی مورد توجه قرار گیرد این است که این مدل‌های آماری بر پایه همبستگی هستند و لزوماً رابطه علت و معلولی بین پدیده‌ها را منعکس نمی‌کنند و ممکن است در مدل‌های مختلف، متغیرهای متفاوتی معنی‌دار شوند. این موضوع در مطالعات متعددی چون ترکش و یتشکه (۴۱) و امیری و همکاران (۴ و ۵) تأیید شد. گارزون و همکاران (۱۴) در مطالعه‌ای نشان دادند که مدل CART از توانایی بالایی جهت مدلسازی رویشگاه کاج اسکاتلندی (*Pinus sylvestris*) برخوردار است و نقشه‌هایی با ضریب کاپای ۰/۶۰ و سطح زیر منحنی پلات‌های ROC برابر ۰/۹۲ تولید می‌کند که بر اساس مقیاس‌های طبقه‌بندی دارای تطابق خوبی می‌باشد. ریورا و لویز-کیولز (۳۲) نیز با مقدار ACU برابر ۰/۹۷ حاصل از مدل CART، کارایی آن را در پیش‌بینی پراکنش گونه *Quercus canariensis* اثبات نمودند.

مدل CART بر اساس معیارهای صحت‌سنجی با رویکرد استفاده از تمامی متغیرها و رویکرد استفاده از متغیرهای مهم و تأثیرگذار، از توانایی بالایی در پیش‌بینی پراکنش مکانی گون زرد برخوردار بود و با دنیای واقعی تطابق نسبتاً خوبی داشت، اما طبق قاعده صرفه‌جویی، استفاده از رویکرد دوم توصیه می‌شود. با مشخص شدن عوامل مهم محیطی و معرف گونه‌های گیاهی، برای بررسی تغییرات درون رویشگاهی می‌توان مطالعات را بر روی آن عوامل متمرکز کرد و از صرف هزینه و زمان برای مطالعه کل عوامل محیطی جلوگیری نمود. مدل حاصل، توانایی پیش‌بینی پراکنش گونه در آینده در اثر تغییر نوع مدیریت و یا تغییر اقلیم را دارا می‌باشد. به این ترتیب که مدل را می‌توان با استفاده از شرایط زیست‌محیطی فعلی و اسنجی کرد و برای پیش‌بینی پراکنش در آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده قرار داد.

نتیجه‌گیری

از اهداف این مطالعه، بررسی کارایی مدل CART در مدلسازی پراکنش مکانی گون زرد در مقیاس محلی بود. بر

منابع مورد استفاده

1. Aghaeipour, N., M. Zavareh, H. Pirdashti, H. Asadi and M. A. Bahmanyar. 2019. Evaluation of spatial variability of some soil chemical and physical properties in Foumanat Plain paddies using geostatistical methods. *Applied Research in Field Crops* 31(4): 50-71. (In Persian)
2. Aliakbari, M., M. R. Vahabi, R. Jafari, H. R. Karimzadeh and M. Baniebrahimi. 2012. The investigation of habitat indicators of two species (*Agropyron trichophorum* Link, Rieyt and *Astragalus verus* Olivier) according to the soil factor in Ferydan rangelands. *Plant and Ecosystem* 8(30): 59-68. (In Persian)
3. Aliakbari, M., R. Jafari, M. R. Vahabi and A. Saadatfar. 2011. Determining potential site for *Astragalus verus* with combination of GIS and remote sensing. *RS and GIS for Natural Resources* 1(1): 15-29. (In Persian)
4. Amiri, M., M. Tarkesh and M. Shafiezadeh. 2022. Modelling the biological invasion of *Prosopis juliflora* using geostatistical-based bioclimatic variables under climate change in arid zones of southwest Iran. *Journal of Arid Land* 14: 203-224.
5. Amiri, M., M. Tarkesh and R. Jafari. 2019. Predicting the climatic ecological niche of *Artemisia aucheri* Boiss in central Iran using species distribution modeling. *Applied Ecology* 8(2): 61-79. (In Persian)
6. Asadzadeh, F., K. Khosraviqdam, N. Yaghmaeian Mahabadi and H. Ramezanzpour. 2019. Spatial variation of mineral particles of the soil using remote sensing data and geostatistics to the soil texture interpolation. *Journal of Water and Soil* 32(6): 1207-1222. (In Persian)
7. Asghari, Sh., S. Dizajghoorbani Aghdam and A. Esmali Ouri. 2015. Investigation the spatial variability of some soil physical quality indices in Fandoghlu region of Ardabil using geostatistics. *Journal of Water and Soil* 28(6): 1271-1283. (In Persian)
8. Azadrooh, H., M. Farzam and M. Mesdaghi. 2020. Effects of harvest intensities on tragacanth gum production and health of *Astragalus Verus*. *Applied Ecology* 9(1): 1-13. (In Persian)
9. Bagherzadeh, K. 2000. The final report of national research plan to identify and determine the species of Tragacanth Gum in Isfahan province. Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center. 57 p. (In Persian)
10. Berry, M. J. A. and G. S. Linoff. 2011. Data mining techniques: for marketing, sales, and customer relationship management. 3rd Edition. Wiley Computer Publishing. 888 p.
11. Fakour, E., S. J. Alavi, M. Tabari and K. Ahmadi. 2017. Estimating the beech forest site productivity in Hyrcanian forest using classification and regression tree algorithm. *Forest and Wood Product* 70(2): 221-229. (In Persian)
12. Fatahi, B., Agha Beygi, S. Ilderimi, A. R. Asadian, Gh. Chehri, M. and S. Nouri. 2008. The relationship among *Astragalus parrowianus*, soil and topographic factors in Zagros mountainous rangelands (case study: Galebor rangelands-Hamedan). *Rangeland* 2(3): 208-224. (In Persian)
13. Feizi, M. T., V. Alijani, Z. Jaberlansar, M. Khadaghol and K. Shirani. 2017. Recognition of Iran ecological zones; vegetation types of Isfahan province. Institute of Forest and Rangeland Research, Tehran, Iran, 290 p. (In Persian)
14. Garzón, M. B., R. Blazek, M. Neteler, R. S. Dios, H. S. Ollero and H. S. Furlanellob. 2006. Predicting habitat suitability with machine learning models: The potential area of *Pinus sylvestris* L. in the Iberian Peninsula. *Ecological Modelling* 97: 383-393.
15. Ghazimoradi M, M. Tarkesh and H. Bashari. 2019. Modeling the potential habitat of *Ferula ovina* (Boiss) using Generalized Linear Model in semi-steppe rangelands of western Isfahan. *Applied Ecology* 8(1): 59-70. (In Persian)
16. Gholami, A., P. Valipour and M. Nourzadeh Hadad. 2020. Performance Evaluation of geostatistics methods on the zoning of soil chemical properties (Case study: Karun East area). *Geographical Space* 69: 1-15. (In Persian)
17. Habashi, H, and R. Rahmani. 2015. Relationship between crown thickness with soil organic matter and microbial respiration in Shastkolateh mixed beech forest, Gorgan. *Wood and Forest Science and Technology* 22(3): 143-158. (In Persian)
18. Hageer, Y., M. Esperón-Rodríguez, J. B. Baumgartner and L. J. Beaumont. 2017. Climate, soil or both? Which variables are better predictors of the distributions of Australian shrub species? *PeerJ*, 5, e3446.
19. Hamidiyanpour, M., M. Saligeh and G. Falah Qalhari. 2012. Applying types of interpolation methods for spatial analysis and monitoring of SPI drought, Case study: Khorasan Razavi province. *Geography and Development* 30: 57-70. (In Persian)
20. Hashemi, M., A. Gholamalizadeh Ahangar, A. Bameri, F. Sarani and A. Hejazizadeh. 2016. Survey and zoning of soil physical and chemical properties using geostatistical methods in GIS (case study: Miankangi region in Sistan). *Journal of Water and Soil* 30(2): 443-458. (In Persian)
21. Jafari, M., M. A. Zare Chahouki and A. Kouhandel. 2007. Soil-vegetation relationships in rangelands of Qom province. *Pajuhesh-va-sazandegi* 19(3): 110-116. (In Persian)
22. Jafarian, Z. and S. Shabanzadeh. 2017. Effect of slope aspect on spatial variability of physical and chemical properties of the soil in Kiasar region of Mazandaran province. *Water and Soil Science* 27(4): 225-235. (In Persian)

23. Keyghobadi, M., H. Piri Sahragard, M. Pahlavan Rad, P. Karimi and R. Yari. 2020. Application of generalized additive model and classification and regression tree to estimate potential habitat distribution of range plant species (Case study: Khazri rangelands of Beyaz plain, Southern Khorasan). *Rangeland and Desert Research* 27(3): 561-576. (In Persian)
24. Khashei Siuki, A. and H. Kardan Moghadam. 2012. Zoning in water sciences using geostatistics. Quds Razavi Publication. 112 p. (In Persian)
25. Khodaghali, M. and R. Saboohi. 2019. Delineating changes in climatic variables and its impact on the *Astragalus verus* Olivier habitats in Isfahan province. *Range and Watershed Management* 72(2): 359-374. (In Persian)
26. Maassoumi, A. A. 2005. The genus *Astragalus* in Iran, Vol. 5. Research Institute of Forests and Rangeland, Tehran. (In Persian)
27. Mahmoodi, M., A. A. Maassoumi and B. Hamzehee. 2009. *Rostaniha* 10(1): 112-132. (In Persian)
28. Mesdaghi, M., 2007. Range Management in Iran. Mashhad. Imam Reza University Press. (in Persian)
29. Mod, H. K., D. Scherrer, M., Luoto and A. Guisan. 2016. What we use is not what we know: environmental predictors in plant distribution models. *Journal of Vegetation Science* 27(6): 1308-1322.
30. Pham, H., M. Y. Guan, B. Zoph, Q. V. Le and J. Dean. 2018. Efficient neural architecture search via parameter sharing. Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning. PMLR 80:4095-4104.
31. Piri Sahragard H. and J. Piry. 2016. Analysis of spatial structure of some soil properties using geostatistical methods (case study: west rangelands of Taftan- Khash). *Rangeland* 10(2): 224-236. (In Persian)
32. Rivera, Ó. R. d. and A. López-Quilez. 2017. Development and comparison of species distribution models for forest inventories. *International Journal of Geo-Information* 6: 176.
33. Saadipour, Ch., M. Roodpeyma, A. Karami, N. Davatgar and S. M. Salahedin. 2017. Evaluation of three geostatistical methods for estimation of some soil physicochemical properties and the effect of sampling density on variogram parameters. *Soil Research* 30(4): 457-473. (In Persian)
34. Safaei, M., M. Tarkesh, M. Bassiri and H. Bashari. 2013. Potential habitat modeling of *Astragalus verus* Olivier using ecological niche factor analysis. *Rangeland* 7(1): 40-51. (In Persian)
35. Safaei, M., Tarkesh, M. and M. Bassiri. 2013. Developing response curves for *Astragalus verus* Olivier with respect to the environmental gradients in Fereydounshahr region of Isfahan province using none parametric multiplicative regression. *Plant and Ecosystem* 9(36): 53-64. (In Persian)
36. Safaei, M., M. Tarkesh, M. Bassiri and H. Bashari. 2013. Determining the potential habitat of *Astragalus verus* Olivier using the geostatistical and logistic regression methods. *Arid Biome* 3(1): 42-54. (In Persian)
37. Saki, M., M. Tarkesh, M. Bassiri and M. R. Vahabi. 2013. Application of logistic regression tree model in determining habitat distribution of *Astragalus verus*. *Applied Ecology* 1(2): 27-38. (In Persian)
38. Sheikhzadeh, A., M. Tarkesh Esfahani and H. Bashari. 2023. Predicting the occurrence and decline of *Astragalus verus* Olivier under climate change scenarios in central Iran. *Arid Land Research and Management*, Published Online, 10.1080/15324982.2023.2177905.
39. Solon, J., M. Degorski and E. Roo-Zielinska. 2007. Vegetation response to a topographical-soil gradient. *Catena* 71: 309-320.
40. Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1285-1293.
41. Tarkesh, M. and G. Jetschke. 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. *Environmental and Ecological Statistics* 19: 437-457.
42. Teimoori Asl, S., A. A. Naghipour, M. R. Ashrafzadeh and M. Haidarian Aga Khani. 2020. Predicting the effects of the climate change on the geographical distribution of *Astragalus verus* Olivier in the central Zagros region. *RS and GIS for Natural Resources* 11(2): 68-85. (In Persian)
43. Vahabi, M. R., M. Basiri, M. R. Moghadam and A. A. Masoumi. 2007. Determination of the most effective habitat indices for evaluation of tragacanth sites in Isfahan province. *Natural Resources Faculty* 59(4): 1013-1029. (In Persian)
44. Zahiri, J. 2015. Nonparametric CART and M5' methods application on bridge piers scour depth computation. *Irrigation and Water Engineering* 5(20): 35-50. (In Persian)
45. Zare Chahouki, M. A., H. Piry Sahragard and M. Naghilou. 2016. Determination of occurrence optimal thresholds in the predictive models of plant species distribution (case study: rangelands of Nir region of Yazd province). *Desert Ecosystem Engineering* 5 (10): 1-12. (In Persian)
46. Zare Chahouki, M. A., M. Jafari, H., Azarnivand, M. R., Moqadam. M., Farahpoor and M. Shafizade. 2007. Application of logistic regression to study the relationship between presence of plant species and environmental factors. *Pajuhesh-va-sazandegi* 76: 136-143, (In Persian)

Determining the Potential Habitat of *Astragalus verus* using the CART Regression Decision Tree Algorithm (Case Study: West of Isfahan Province)

M. Tarkesh^{1*}, N. Monsef¹, M. R. Vahabi¹, S. Pourmanafi² and M. Amiri^{1,3}

(Received: November 21-2022; Accepted: July 11-2023)

Abstract

In the present study, the relationship between the distribution of *Astragalus verus*, climate, soil and topography in Isfahan province was investigated using the CART (Classification and Regression Trees) non-parametric regression. According to the vegetation types dominated by *Astragalus verus*, 287 sites were selected using stratified-random sampling and 106 presence points were recorded. Non-normally distributed soil variables were normalized according to the skewness type by data transformation. For variables that were not normalized by the data transformation, the inverse distance weighted and for normally distributed variables, kriging methods were used for mapping. To investigate the spatial continuity of these variables, the best variogram was selected. Using the principle component analysis (PCA) and correlation matrix, the most effective factors on distribution were clay percentage, mean temperature of the coldest (Bio11), and driest (Bio9) quarter, minimum temperature of the coldest month (Bio6), annual mean temperature (Bio1), saturated moisture and organic carbon, respectively. Model evaluation using replacement method and using independent data indicated high accuracy of the model. According to the optimum threshold of 0.41 and fuzzy-based habitat suitability map, the suitable habitat for the species was 34.5 % of the area. The results are used in sustainable rangeland management, conservation and their restoration.

Keywords: Habitat suitability, Geostatistics, Decision tree, Variogram, Principal component analysis

1. Department of Rangeland and Watershed, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran.

2. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran.

3. Department of Agricultural Sciences, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: m_tarkesh@cc.iut.ac.ir