مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) جلد ۳۸، شماره ۱، ۱۴۰۴
مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲ DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

پاسخ گونه گون زرد به مهمترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش با استفاده از روش رگرسیون غیرپارامتریک مضربی (NPMR) در مراتع غرب استان اصفهان

مصطفی ترکش[1*]، نفیسه منصف[1]، محمدرضا وهابی[1]، سعید پورمنافی[2] و محدثه امیری[3،1]

[1] **ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه مرتع و آبخیزداری**

[2] **ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط زیست**

[3] **ایران، تهران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، گروه علوم کشاورزی**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴

چکیده

پراکنش گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌ها تصادفی نبوده، بلکه تحت تأثیر عوامل محیطی می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر عوامل اقلیمی، خاکی و فیزیوگرافی بر پراکنش گون زرد به‌عنوان گونه شاخص مراتع غرب استان اصفهان و پاسخ آن به گرادیان‌های محیطی انجام شد. پس از ثبت نقاط حضور و غیاب گونه به‌صورت تصادفی–طبقه‌بندی شده، مدلسازی شایستگی رویشگاه با مدل رگرسیون غیرپارامتریک مضربی (NPMR) در نرم‌افزار HyperNiche صورت گرفت. برای متغیرهای خاکی که مطابق نوع چولگی با تبدیل داده نرمال شدند، روش‌های کریجینگ و برای متغیرهایی که دارای توزیع نرمال نشدند، روش معکوس وزنی فاصله جهت تولید نقشه بکار رفت. پیوستگی مکانی این متغیرها با انتخاب بهترین مدل واریوگرام برازش داده شده در نرم‌افزار GS+ 9.0 بررسی شد. طبق منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای مشخص شده با شاخص LogB، بیشترین حضور گونه در بارش ۱۱۰ میلیمتر در سردترین فصل، میانگین درجه حرارت سالانه ۱۱ درجه سانتیگراد و خاک‌های خنثی تا کمی قلیایی (pH=۷/۸) رخ داد. همچنین زمانیکه متوسط دما در سردترین فصل ۲-، حداکثر دما در گرمترین ماه ۳۳ درجه سانتیگراد و تغییرات فصلی درجه حرارت ۹/۲ بود، اوج حضور گونه مشاهده شد. عملکرد مدل طبق آماره‌های ارزیابی به روش-های جایگزینی و استفاده از داده‌های مستقل، عالی گزارش شد. روی نقشه شایستگی زیستگاه، طبقه ضعیف شایستگی نیمی از منطقه را به خود اختصاص داد. با انتخاب آستانه اپتیمم ۵۲٪ در روش جایگزینی و ایجاد نقشه فازی شایستگی، گونه در ۳۰/۷۲ درصد از منطقه حضور داشت. نتایج تحقیق می‌تواند جهت اصلاح و احیای گون‌زارها در مناطق با شرایط اکولوژیکی مشابه بکار رود.

واژه های کلیدی: اکولوژی، منحنی عکس‌العمل، درون‌یابی، گرادیان محیطی، مدل NPMR.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۱۳۹۱۱۰۲۵، پست الکترونیکی: m_tarkesh@cc.iut.ac.ir

مقدمه

سرزمین ایران به واسطه دارا بودن تنوع توپوگرافی و موقعیت خاص جغرافیایی دارای تنوع اقلیمی در مقیاس-های مختلف مکانی–زمانی می‌باشد (۱۴). اقلیم و توپوگرافی خود به عنوان دو عامل مهم خاکسازی که پیدایش، تکامل و رده‌بندی خاک را تحت تأثیر قرار می-دهند، عامل عمده استقرار و پراکنش گونه‌های گیاهی هستند. در واقع، توپوگرافی با تأثیر بر درصد و شکل شیب، میزان دریافت نزولات جوی، میزان رواناب و نفوذ، فرسایش و زهکشی بر تکامل خاک مؤثر است (۱۲). بنابراین، با تغییر در هر یک از متغیرهای توپوگرافی (ارتفاع

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲
DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

از سطح دریا، میزان و جهت شیب) متغیرهای اقلیمی و خاکی تغییر می‌کنند (۱۰). تنوع اقلیمی و وجود خاک‌های با خصوصیات مختلف سبب شده که ایران رویشگاه گونه-های گیاهی بسیاری باشد. در صورت شناسایی عوامل اکولوژیک مؤثر بر پراکنش و رشد گیاهان که نخستین حلقه زنجیره غذایی در اکوسیستم‌های مرتعی هستند، از اتلاف زمان و هزینه در برنامه‌ریزی‌های اصلاح و احیای مراتع جلوگیری به عمل می‌آید (۶). جهت بررسی شایستگی زیستگاه گونه‌های گیاهی در مقیاس منطقه‌ای استفاده از عوامل اقلیمی، فیزیوگرافی و خاکی کفایت می‌کند و عوامل زیستی شامل روابط درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای در سطح محلی یا خرد اقلیم مؤثرند (۳۶). مدلسازی اکولوژیکی گونه‌ها از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان شایستگی زیستگاه گونه و تغییر در محدوده پراکنش جغرافیایی آن را مورد پایش و بررسی قرار داد (۲۳). در نظر گرفتن تأثیر تغییرات زیست محیطی، شناسایی اهمیت نسبی متغیرهای محیطی و کمّی‌سازی خصوصیات آشیان یک گونه که محدوده فیزیولوژیک گونه و محدوده بهینه آن را در امتداد گرادیان‌های محیطی توصیف می‌کند، اهمیت بسزایی دارند (۳۳). عکس‌العمل گونه‌ها به گرادیان‌های اکولوژیکی در زمان و مکان و درک روابط گیاهان و عوامل رویشگاهی، یکی از مسائل مهم در بوم‌شناسی پوشش گیاهی است. منحنی پاسخ گونه یا منحنی عملکرد گونه در رابطه با تغییر عوامل محیطی مستخرج از تکنیک‌های مختلف آماری، یکی از موضوعات کلیدی در روابط گونه–محیط می‌باشد (۱۹). در اکولوژی این دیدگاه رواج یافته که گونه‌ها غالباً پاسخ تک نمایی و متقارن به گرادیان‌های محیطی نشان می‌دهند و از توزیع گوسی تبعیت می‌کنند، اما نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از این می‌باشند که اگرچه گاهی منحنی‌های پاسخ متقارن در طبیعت دیده می-شوند، ولی عمومیت ندارند و منحنی‌های دونمایی، چوله-دار و غیره نیز مشاهده می‌شوند (۱۹). بررسی منحنی‌های پاسخ گونه نسبت به عوامل محیطی به دلیل ارائه مقدار بهینه و دامنه آشیان اکولوژیک گونه نسبت به متغیرهای محیطی و نیز بررسی اینکه کدام یک از عوامل محیطی حداکثر و کدام یک حداقل سهم را در منحنی پاسخ گونه ایفا می‌کنند، اهمیت بسیاری دارد (۷). برای توصیف الگوهای عکس‌العمل مشاهده شده، به مدل‌های اکولوژیکی نیاز است. یکی از فرضیات اصلی استفاده از مفهوم میدان اکولوژیک گونه‌ها در مدلسازی پراکنش این است که گونه-ها در تعادل با اقلیم هستند و روابط بین‌گونه‌ای نظیر شکار و رقابت، توانایی پراکنش یا جابجایی گونه‌ها و مداخلات انسانی در این گونه مطالعات در نظر گرفته نمی‌شوند. مدل پیش‌بینی کننده NPMR (Non Parametric Multiplicative Regression) نیز بدون هیچ پیش‌فرضی، شکل منحنی عکس‌العمل گونه نسبت به متغیرهای اکولوژیک و دامنه بردباری گونه را تعیین می‌کند. این مدل با اختصاص وزن به نقاط نمونه‌برداری و بررسی حضور و غیاب گونه تحت شرایط محیطی حاکم، منحنی‌های پاسخ گونه را ترسیم می‌کند (۱۶). پژوهش‌های مختلفی در خصوص پراکنش و شایستگی زیستگاه گون زرد تحت شرایط فعلی و اقلیم آینده، استفاده از مدل NPMR و بررسی شکل منحنی پاسخ گونه نسبت به گرادیان‌های محیطی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. صفائی و همکاران (۱۷) به کمک نقشه‌های رویشگاه بالقوه گون زرد در مراتع فریدونشهر با استفاده از رگرسیون لجستیک (LR) و تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (ENFA) با ۳۱ متغیر محیطی، روش NPMR را برای ترسیم منحنی‌های پاسخ به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که مناطقی با شیب متوسط، خاک‌های با بافت متوسط تا نسبتاً سنگین و شوری کم رویشگاه مناسب این گونه می‌باشند. خداقلی و صبوحی (۹) تأثیر تغییرات متغیرهای اقلیمی را بر زوال گون زرد در استان اصفهان بررسی نمودند و دریافتند که دمای سرمایشی مهمترین و مؤثرترین عامل بر رویشگاه‌های این گونه می‌باشد. نتایج مطالعه طیموری‌اصل و همکاران (۱۸) در شناسایی

DOI: 10.22034/jpr.2025.2274 مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲

رویشگاه‌های مناسب این گونه در استان چهار محال و بختیاری و پیش‌بینی تغییرات آنها تحت سناریوهای تغییر اقلیم حاکی از این بود که بخش‌های شمال‌شرقی و شرق استان در مقایسه با سایر مناطق از اهمیت رویشگاهی بیشتری برای گونه برخوردار می‌باشند. همچنین، تغییر اقلیم پیامدهای قابل توجهی دارد. علاوه بر نامطلوب شدن رویشگاه‌های امروزی، رویشگاه‌های مطلوب این گونه به مناطق با ارتفاع بیشتری اضافه خواهند شد. مطالعه شیخ‌زاده و همکاران (۳۹) نیز پیرامون پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر گون زرد در ایران مرکزی نشان داد که با افزایش دمای حدود ۳ درجه سانتیگراد تحت سناریوی CCSM4-RCP2.6، زیستگاه گونه حدود ۳/۴ درصد کاهش خواهد یافت و به سمت ارتفاعات بالاتر با دمای سردتر جابجا خواهد شد.

در مطالعه حاضر از روش رگرسیون NPMR برای ترسیم منحنی‌های پاسخ گونه گون زرد به عنوان یکی از گونه‌های با اهمیت صنعتی و دارویی و شاخص مراتع غرب استان اصفهان و تعیین رویشگاه‌های بالقوه آن استفاده شد. حدود ۳۱/۵ درصد از سطح استان اصفهان به رویشگاه‌های گون اختصاص دارد که به صورت تشکیلات گیاهی گوناگون و گاهی نیز جوامع گیاهی یکنواختی دیده می‌شوند (۹). کتیرای استخراج شده از گون‌ها از مهمترین محصولات فرعی مرتع در نواحی غیرشمالی کشور است که بهره-برداری اصولی از آن کاملاً اقتصادی می‌باشد (۱۱). متأسفانه در حال حاضر بهره‌برداری‌های بی‌رویه و روند افزایشی تخریب گون‌ها در استان اصفهان مشاهده می‌شود. از آنجاییکه پوشش گیاهی هر منطقه تا حد زیادی تحت کنترل عوامل محیطی قرار دارد، با شناسایی ارتباط عوامل اکولوژیک با پراکنش گونه‌های جنس گون که شامل اقلیم، توپوگرافی و خاک می‌باشند، می‌توان نیازهای اکولوژیکی گونه را تشخیص داد. تعمیم نتایج به مناطق با شرایط اکولوژیک مشابه نیز یکی از راه‌حل‌های معقول جهت اصلاح و احیای گون‌زارها و جلوگیری از نابودی آنها به ویژه از طریق مرتعکاری می‌باشد. بنابراین، این مطالعه با هدف ارائه نقشه پتانسیل پراکنش گونه گون زرد با استفاده از روش NPMR، ترسیم منحنی‌های پاسخ و ارتباط میان متغیرهای مؤثر با پراکنش گونه در غرب استان اصفهان انجام شد.

مواد و روشها

منطقه و گونه مورد مطالعه: استان اصفهان واقع در مرکز کشور و منطقه رویشی ایران-تورانی حدود ۶/۴۵ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است. از غرب به شرق استان، میزان بارش کاهش و میانگین دمای هوا افزایش می‌یابد. میانگین بارندگی سالانه استان حدود ۱۵۰ میلیمتر می‌باشد که از ۱۳۰۰ میلیمتر در ارتفاعات غربی تا ۶۰ میلیمتر در نواحی پست شرقی و شمال شرقی متغیر است (۱۰). منطقه مورد مطالعه در غرب استان به مختصات جغرافیایی ´۳۱ °۳۱ تا ´۲۸ °۳۴ عرض شمالی و ´۳۸ °۴۹ تا ´۴۴ °۵۲ طول شرقی و مساحت ۶۰۱۸۴۲۵ هکتار در نیمه غربی استان قرار دارد (شکل ۱) و ارتفاع آن از ۷۰۰ تا ۳۷۰۰ متر متغیر است. شیب غالب منطقه ۵-۰ درصد و جهت غالب شیب نیز شمال‌شرقی می‌باشد. مراتع غرب استان، اثرات اقتصادی و اجتماعی بسزایی بر جوامع روستایی و عشایری منطقه دارند (۱۵).

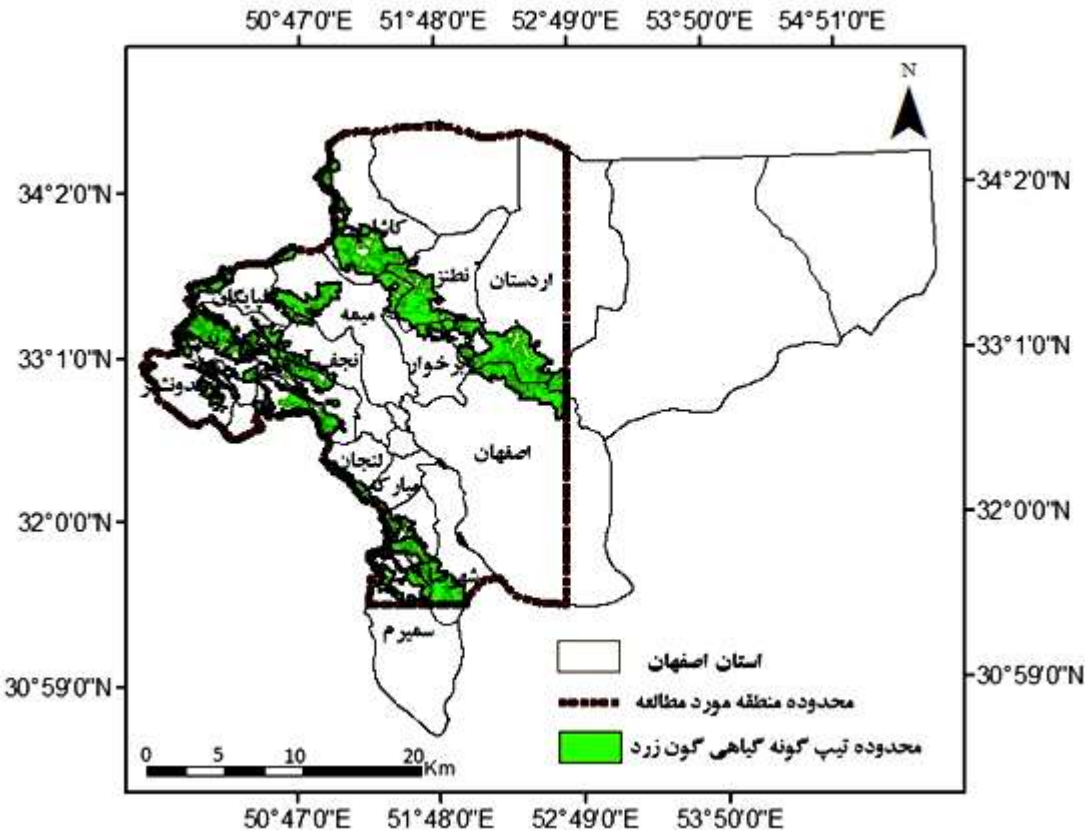
جنس گون (Astragalus) از خانواده بقولات (Legominosae) در مناطق معتدله جهان پراکنش وسیعی دارد. ایران به عنوان خاستگاه و از مراکز مهم تنوع گونه-های مختلف این جنس شناخته شده است، بطوریکه حدود ۶۰ درصد گون‌ها بومی ایران هستند (۳۴). پراکنش وسیع گونه‌های جنس گون در مراتع کوهستانی کشور به دلیل دارا بودن تاج پوشش گسترده و ریشه‌های عمیق در حفاظت از خاک مخصوصاً در اراضی شیبدار و نیز دارا

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲
DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

بودن خاصیت دارویی و به عنوان یکی از منابع تولید علوفه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۴).

گون زرد (*Astragalus verus* Oliver)، بوته‌ای کوچک، خارپشتی یا کوهانی و یا به صورت درختچه‌ای افراشته و با شاخه‌های منشعب، نقره‌ای یا خاکستری رنگ، پوشیده از کرک‌های سفید متراکم و گاهی فاقد کرک است. برگ‌ها به طول ۷-۲ میلیمتر و متصل به دمبرگ، گوشوارک‌ها ۱۰-۵ میلیمتر، زرد رنگ و پوشیده از کرک‌های نمدی هستند (۲۶). علاوه بر نقش حفاظتی این گونه، صمغ آن با نام کتیرا در صنایع آرایشی، داروسازی و رنگرزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۸).

برداشت میدانی: ابتدا با بازدید از منطقه و به کمک نقشه پوشش گیاهی، ۲۸۷ مکان مطالعاتی با تلفیق نقشه‌های ارتفاع، شیب، جهت و شرایط رویشگاهی انتخاب شدند. به دلیل اندازه پیکسل لایه‌های متغیرهای اقلیمی که معادل یک کیلومترمربع می‌باشد، در ثبت نقاط رخداد گونه با سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) نیز سعی بر آن بود مناطقی به عنوان رخداد در نظر گرفته شوند که ضمن غالبیت گونه در آنها، لکه‌ای به مساحت حداقل یک کیلومترمربع را پوشش دهند. همچنین نقاط ثبت شده، حداقل یک کیلومتر از هم فاصله داشته باشند (۲). بر این اساس و با توجه به اینکه وسعت مناطق عدم حضور گونه از حضور آن بیشتر بود، ۱۰۶ نقطه حضور و ۱۸۱ نقطه غیاب گونه انتخاب شد.



شکل ۱. پراکنش گونه *Astragalus verus* و موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان.

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲
DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

آماده‌سازی لایه‌های متغیرهای محیطی: از روی مدل رقومی ارتفاع (DEM) نقشه‌های ارتفاع، درصد شیب و جهت شیب در در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.3 استخراج شدند. لایه‌های رستری نوزده متغیر بیوکلیماتیک شامل مقادیر سالانه، فصلی و ماهانه دو پارامتر درجه حرارت و بارش با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر از پایگاه اطلاعاتی بین‌المللی اقلیم جهان (www.worldclim.org) بدست آمدند. این متغیرها به طور کلی همبستگی بالایی دارند و علیرغم دارا بودن ماهیّت اقلیمی، به لحاظ اکولوژیکی نیز معنی‌دار هستند. به منظور تولید لایه‌های متغیر خاک، اطلاعات مربوط به ۴۲۷ پروفیل خاک حفر شده در استان از دانشگاه‌ها، ادارات منابع طبیعی و مراکز تحقیقات استان جمع‌آوری گردید. با توجه به اینکه جهت درون‌یابی به روش کریجینگ نرمال بودن متغیرها الزامی است، توزیع نرمال داده‌های خاک با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. از میان متغیرهای خاک فقط درصد سیلت از توزیع نرمال تبعیت می‌کرد. از این‌رو، بر اساس نوع چولگی تبدیل‌های مختلفی جهت نرمال‌سازی بر روی سایر متغیرها صورت گرفت که نتایج آنها بر اساس میانگین مجذور مربعات خطا در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ارزیابی بهترین روش درون‌یابی متغیرهای خاک.

متغیر	نوع چولگی	روش نرمال‌سازی	روش درون‌یابی	RMSE
اسیدیته (pH)	چولگی به چپ	توزیع غیر نرمال	معکوس وزنی فاصله	۲/۴۸
هدایت الکتریکی (EC)	چولگی به راست	توزیع غیر نرمال	معکوس وزنی فاصله	۰/۷۳
رطوبت اشباع (SP)	چولگی به راست	حذف داده‌های پرت	کریجینگ جهانی	۰/۶۷
کربن آلی (OC)	چولگی به راست	توزیع غیر نرمال	معکوس وزنی فاصله	۰/۴۸
شن (Sand)	چولگی به راست	توزیع غیر نرمال	معکوس وزنی فاصله	۱۳/۴
سیلت (Silt)	–	–	کریجینگ جهانی	۸/۹۱
رس (Clay)	چولگی به راست	تبدیل جذر	کریجینگ ساده	۱
سنگ و سنگریزه (G)	چولگی به راست	توزیع غیر نرمال	معکوس وزنی فاصله	۰/۷۳

جهت محاسبات کریجینگ و تشخیص پیوستگی مکانی متغیرها، تغییرنما یا واریوگرام در نرم‌افزار GS+ 9.0 محاسبه شد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} + \sum_{i=1}^{n}\left(z(x_i + h) - z(x_i)\right)^2 \quad (۱)$$

که در آن $\gamma(h)$ مقدار واریوگرام در فاصله h، $z(x_i + h)$ مقدار اندازه‌گیری شده در مکان $x_i + h$ و $z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x_i و $N(h)$ تعداد جفت نقاط به فاصله h می‌باشد (۴۴).

هر واریوگرام شامل سه پارامتر اثر قطعه‌ای (Nugget effect)، حد آستانه (Sill) و دامنه تأثیر (Range of Influence) است. اثر قطعه‌ای (C_0) مقدار واریوگرام در مبداء مختصات یعنی به ازای $h = 0$ می‌باشد. حد آستانه ($C_0 + C$) به مقدار ثابتی گفته می‌شود که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد. دامنه تأثیر نیز فاصله‌ای است که در آن واریوگرام به حد ثابتی رسیده و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود. به منظور تعیین درجه وابستگی مکانی متغیرهای مورد مطالعه از نسبت $\frac{C_0}{C+C_0}$ (اثر قطعه‌ای به حد آستانه) استفاده شد (۲۵).

جهت مشخص نمودن همسانگردی و ناهمسانگردی نیز واریوگرام‌ها در جهات مختلف ترسیم و با برازش رویه آن در جهات مختلف توزیع آنها بررسی گردید. در صورت متقارن بودن رویه واریوگرام، محیط همسانگرد و در غیر این صورت ناهمسانگرد خواهد بود (۸). کریجینگ بهترین

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲
DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

برآورد کننده خطی ناریب است که بر مبنای میانگین متحرک وزن‌دار قرار دارد (۲۴). این روش بر روی داده‌های با پراکندگی نامنظم نیز به این صورت برآورد را انجام می‌دهد:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i z(x_i) \quad (۲)$$

که $\hat{z}(x_0)$ تخمین مقدار متغیر z در نقطه x و λ_i نیز وزن‌های آماری تخصیص یافته به مقادیر z در نقاط x_i می‌باشد (۲۵).

برای برخی متغیرهای خاک که با تبدیل داده نرمال نشدند و یا اثر قطعه‌ای تام وجود داشت، از روش معکوس وزنی فاصله (IDW: Inverse Distance Weighting) استفاده شد. مقدار عاملی وزن در این روش از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-\alpha}} \quad (۳)$$

که λ_i وزن نقطه iام، D_i فاصله نقطه iام تا نقطه مجهول و α نیز توان وزندهی است (۲۴).

جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (z(x_i) - z^*(x_i))^2}{n}} \quad (۴)$$

در رابطه فوق، n تعداد نقاط نمونه‌برداری، $z^*(x_i)$ مقدار متغیر مشاهده شده در محل نقاط نمونه‌برداری روی نقشه‌های تهیه شده (مقدار برآورد شده) و $z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نمونه واقعی می‌باشد (۳۵). معمولاً هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، دقت روش بیشتر خواهد بود (۳۰).

مدل‌های واریوگرام برازش داده شده برای سیلت و رس از نوع کروی و برای رطوبت اشباع از نوع نمایی بود. جدول ۲، خصوصیات مدل‌های واریوگرام برازش داده شده برای این سه متغیر که به روش کریجینگ درون‌یابی شدند را نشان می‌دهد. با توجه به تقارن واریوگرام‌های سطحی، متغیرهای مورد نظر در منطقه مورد مطالعه از توزیع همسانگرد یا مستقل از جهت برخوردار بودند که حاکی از تغییر پذیری یکسان آنها در جهات مختلف می‌باشد.

جدول ۲. اجزای تشکیل‌دهنده مدل‌های واریوگرام برازش داده شده برای سه متغیر خاک.

نام متغیر	نوع مدل	مدل واریوگرام	اثر قطعه‌ای	آستانه	درصد $\frac{C_0}{C+C_0}$	کلاس وابستگی	دامنه تأثیر	RMSE
سیلت	همسانگرد	کروی	۵۳	۱۳۲	۴۰/۱۵	متوسط	۶۱۱۰۰	۸/۹۱
رس	همسانگرد	کروی	۰/۷۳	۲/۱۰	۳۴/۷۶	متوسط	۴۱۱۰۰۰	۱
رطوبت اشباع	همسانگرد	نمایی	۷۱/۳۰	۱۴۲/۷	۴۹/۹۶	متوسط	۲۶۵۰۰	۰/۶۷

انتخاب متغیرهای ورودی مدل و ترتیب اهمیت آنها: تمامی لایه‌های محیطی به لحاظ محدوده، سیستم تصویر و تعداد پیکسل‌های سطر و ستون همسان‌سازی شدند. جهت انتخاب متغیرهای مستقل مدل، از ضریب همبستگی پیرسون ($|r|$<۰/۸) و شاخص تورم واریانس (VIF<۳) استفاده گردید. طی آنالیز حساسیت جهت رتبه‌بندی اهمیت متغیرها در نرم‌افزار HyperNiche (۳۷)، هر بار یکی از متغیرها از فرآیند مدلسازی خارج شده و مدل با سایر متغیرها اجرا و مقدار شاخص ارزیابی مدل (LogB) اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، هر متغیر که مقدار LogB را بیشتر کاهش دهد، از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود. در نهایت، پس از حذف متغیرهای غیر ضروری و با همبستگی بالا، ارزش هر یک از متغیرها در نقاط نمونه‌برداری از نقشه‌های مربوط به آنها استخراج و داده‌های اولیه جهت مدلسازی آماده شدند.

DOI: 10.22034/jpr.2025.2274 مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲

برازش مدل NPMR: ابتدا پنجره متحرکی تعریف می‌شود که عرض آن باید تعداد مناسبی نقطه را شامل شود. نقطه واقع در مرکز پنجره، فوکال و سایر نقاط داخل آن، همسایه نام دارند. سپس یک منحنی وزندهی گوسی تعریف می‌شود که بیشترین وزن (برابر یک) را به نقطه فوکال داده و وزن سایر نقاط از تصویر آنها روی منحنی بدست می‌آید. مقدار برازش شده نقطه فوکال با میانگین‌گیری وزنی تعیین می‌گردد. این فرآیند ادامه می‌یابد تا با اتصال مجموعه نقاط ایجاد شده، منحنی پاسخ گونه به عنوان خروجی مدل حاصل شود (۴۲). در این مدل، احتمال وقوع هر واحد نمونه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۳۶، ۴۳):

$$y_v = \frac{\sum_{i=1}^{n=1} y_{i(}\prod_{j=1}^{m} w_{ij}^{*})}{\sum_{i=1}^{n=1} \prod_{j=1}^{m} w_{ij}^{*}} \qquad (۵)$$

y_v: مقدار برآورد شده احتمال وقوع برای یک واحد نمونه هدف، y_i: مقدار مشاهده شده (۰ یا ۱) در هر n-1 واحد نمونه غیر هدف، w_{ij}^{*}: وزن حاصل از منحنی گوسی برای یک متغیر پیش‌بینی کننده منحصر به فرد j در واحد نمونه i که از رابطه (۶) محاسبه می‌شود، و m: تعداد متغیرهای پیش‌بینی کننده می‌باشد.

$$w_{ij}^{*} = \exp^{-1/2[(x_{ij}-v_{ij}/s_j)]^2} \qquad (۶)$$

در رابطه فوق، x_{ij}: مقدار متغیر پیش‌بینی کننده j در واحد نمونه i، v_{ij}: مقدار متغیر پیش‌بینی کننده j در واحد نمونه هدف و s_j: مقدار انحراف معیار برای متغیر پیش‌بینی کننده j می‌باشد (۳۶، ۴۳).

ارزیابی مدلسازی: جهت ارزیابی کارایی مدل نسبت به واقعیت زمینی، مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) به کار رفت. عدد AUC بزرگتر از ۰/۹ صحت بالا، ۰/۹-۰/۷ صحت خوب و ۰/۷-۰/۵ صحت کم مدل را نشان می‌دهد. مقدار AUC برابر ۰/۵ یعنی هیچ تفاوتی بین پیش‌بینی مدل بر اساس نقاط حضور و پیش‌بینی آن بر اساس نقاط تصادفی وجود ندارد (۴۱). علاوه بر این، شاخص‌هایی چون حساسیت (Sensitivity)، ویژه‌انگاری (Specificity) و TSS (True Skill Statistic) نیز با رویکرد برابرسازی حساسیت-ویژه‌انگاری محاسبه شدند. تغییرات TSS از ۱- تا ۱+ می‌باشد که مقادیر مثبت کارایی بهتر مدل نسبت به تصادف را بیان می‌کنند و مقادیر منفی کارایی را نشان می‌دهند که از حالت تصادفی بهتر نیستند (۲۹).

ترسیم منحنی‌های پاسخ گونه نسبت به گرادیان‌های محیطی: در بررسی منحنی پاسخ، رفتار گونه‌ها در امتداد فقط یک گرادیان مورد بررسی قرار می‌گیرد و می‌توان مقدار بهینه و دامنه بردباری اکولوژیک آنها را تعیین کرد (۳۸). در منحنی‌های پاسخ گونه، فاصله بین دو حد بالایی و پایینی از شرایط بوم‌شناختی یا محیطی، دامنه یا میدان بوم‌شناختی گونه نامیده می‌شود. بین این دو مرز، یک حد مطلوب یا بهینه وجود دارد که گونه در آن دارای بهترین عملکرد یا بیشترین احتمال وقوع یا فراوانی (مقدار مربوط به مُد منحنی) بر اساس مدل می‌باشد. دامنه بوم‌شناختی در تابع پاسخ گوسی از "اپتیمم±بردباری" محاسبه می‌شود (۳۰).

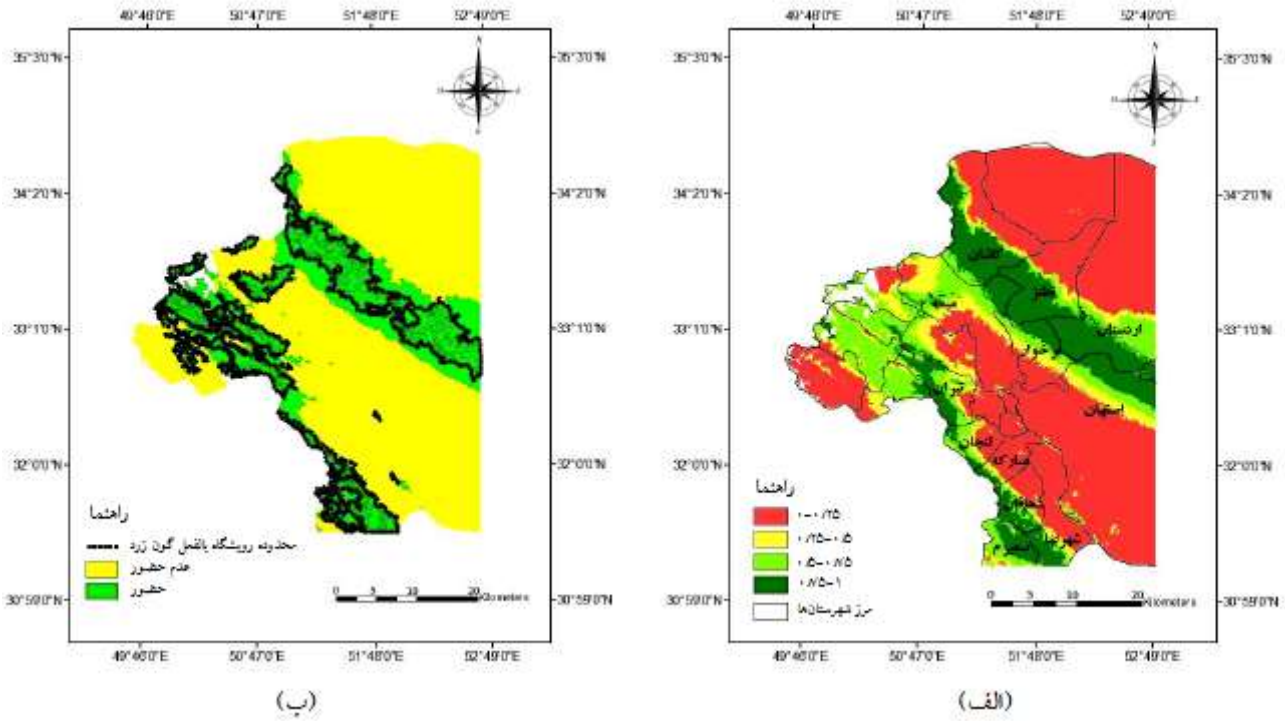
نتایج

بر اساس آنالیز حساسیت انجام شده و با توجه به مقادیر شاخص LogB، ترتیب اهمیت متغیرها به این صورت می‌باشد: میانگین دمای سالانه (A.M.T)، درجه حرارت فصلی (T.S)، حداکثر دما در گرمترین ماه (Max.T.War)، میانگین دما در سردترین فصل (T.C.Q)، بارندگی در خشک‌ترین ماه (P.D.M)، بارندگی در سردترین فصل (P.C.Q) و اسیدیته (pH) خاک.

نقشه پیش‌بینی رویشگاه گون زرد برای نمایش بهتر و سهولت تفسیر به ۴ طبقه شایستگی (ضعیف، متوسط، خوب و عالی) طبقه‌بندی شد (شکل ۲-الف). جدول ۳ مساحت و درصد مساحت مربوط به هر یک از طبقات نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه حاصل از مدل NPMR را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین سطح به ترتیب مربوط به

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲
DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

احتمال رخداد (۰/۲۵-۰) و (۰/۵-۰/۲۵) هستند. سطح مربوط به حداکثر احتمال رخداد گونه شهرستان‌های کاشان، نطنز، اردستان، برخوار، شهرضا، سمیرم، دهاقان، مبارکه، لنجان، تیران و اصفهان را به خود اختصاص می-دهد. با رویکرد برابرسازی حساسیت-ویژه‌انگاری، آستانه بهینه ۵۲ درصد به منظور کلاس‌بندی نقشه پیش‌بینی به دو کلاس حضور و عدم حضور انتخاب گردید (شکل ۲-ب). با توجه به نقشه فازی شایستگی رویشگاه، گونه ۱۸۴۹۲۶۹ هکتار (۳۰/۷۲ درصد) از سطح منطقه مورد مطالعه را می-پوشاند.



شکل ۲. (الف) نقشه طبقات شایستگی و (ب) نقشه فازی رویشگاه گونه با استفاده از مدل NPMR.

جدول ۳. سطح تحت پوشش طبقات شایستگی رویشگاه گونه گون زرد.

طبقات شایستگی	احتمال رخداد	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
ضعیف	۰-۰/۲۵	۳۴۴۳۲۰۴	۵۷/۲۱
متوسط	۰/۲۵-۰/۵	۵۶۴۲۶۸	۹/۳۸
خوب	۰/۵-۰/۷۵	۹۴۶۶۱۸	۱۵/۷۳
عالی	۰/۷۵-۱	۱۰۶۴۳۳۵	۱۷/۶۸

اپتیمم آستانه و مقادیر شاخص‌های ارزیابی مستقل از آستانه و وابسته به آن به دو روش جایگزینی و استفاده از داده‌های مستقل، در جدول ۴ گزارش شده‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی مدل بیانگر این است که مدل NPMR با در نظر گرفتن سطح زیر منحنی پلات‌های ROC برابر ۰/۹۱ در هر دو روش ارزیابی جایگزینی و استفاده از داده‌های مستقل، تطابق عالی با واقعیت زمینی دارد. منحنی‌های پاسخ گونه گون زرد در ارتباط با مهمترین متغیرهای محیطی در نرم-افزار HyperNiche ترسیم شد (شکل ۳).

DOI: 10.22034/jpr.2025.2274 مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲

جدول ۴. ارزیابی مدل بر اساس شاخص‌های آماری.

شاخص	روش جایگزینی	داده‌های مستقل
سطح زیر منحنی پلات‌های ROC	۰/۹۱	۰/۹۱
اپتیمم آستانه	۰/۵۲	۰/۴۴
حساسیت	۰/۹۶	۰/۹۲
ویژه‌انگاری	۰/۸۷	۰/۷۹
TSS	۰/۸۳	۰/۷۱

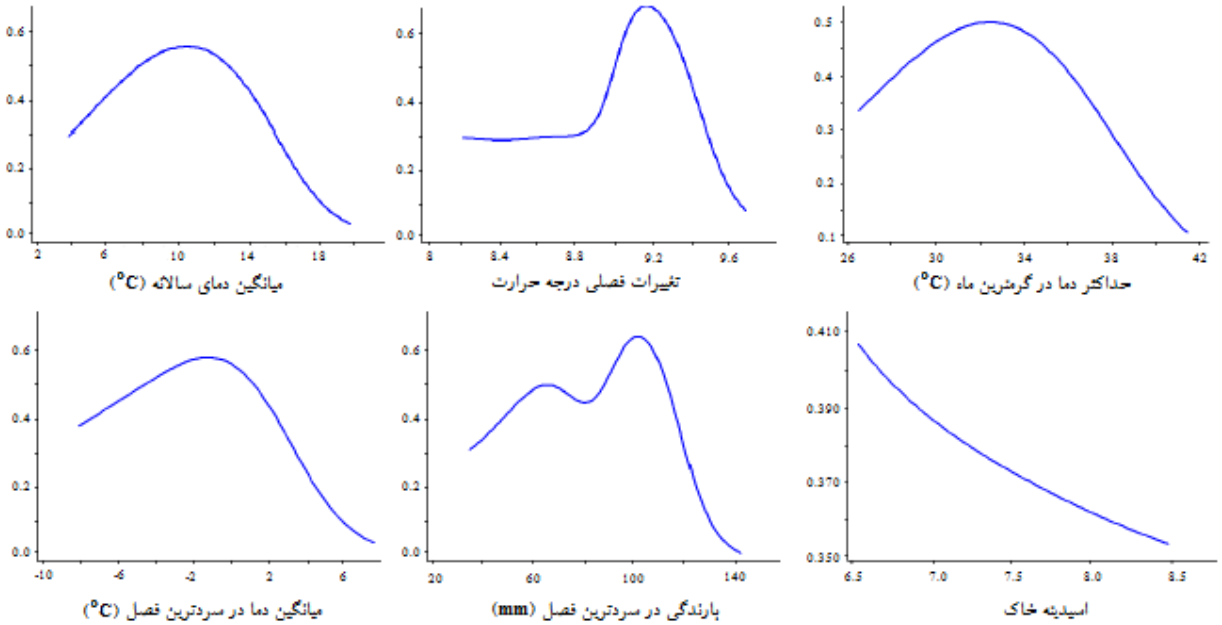
منحنی عکس‌العمل گونه به میانگین دمای سالانه به شکل گوسی و در میانه گرادیان (۱۴-۸ درجه سانتیگراد) دارای بیشترین احتمال حضور است. حداکثر احتمال حضور در میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود و پس از آن با افزایش دما احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. تغییرات فصلی درجه حرارت از ۸/۲ تا ۸/۸ بر حضور گونه تأثیری نداشته است. بیشترین حضور گونه در تغییرات فصلی درجه حرارت حدود ۹/۲ مشاهده می‌شود و پس از آن با افزایش تغییرات، احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. منحنی پاسخ گونه در ارتباط با متوسط دما در سردترین فصل نیز حالت گوسی دارد. بدین ترتیب که حداکثر وفور گونه در حدود ۲- درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود. چنانچه حداکثر درجه حرارت در گرمترین ماه از ۲۶ تا ۳۲ درجه سانتیگراد باشد، احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد، بیشترین احتمال حضور در حداکثر دمای ۳۳ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد و پس از آن با افزایش دما تا ۴۲ درجه سانتیگراد، احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. پاسخ گونه به بارندگی سردترین فصل از یک روند دو نمایی تبعیت می‌کند. یک اوج در دامنه بارشی ۸۰-۴۰ میلیمتر و دیگری در دامنه ۱۴۰-۸۰ میلیمتری مشاهده می‌شود که به ترتیب در بارش معادل ۶۵ و ۱۰۰ میلیمتر می‌باشند. رفتار گونه نسبت به تغییرات اسیدیته خاک به صورت خطی کاهشی است. گونه در اسیدیته ۶/۷ حداکثر حضور را دارد و پس از آن احتمال رخداد کاهش می‌یابد.

بحث

عملکرد بالای مدل NPMR در مطالعه ترکش و یتشکه (۴۳) نیز اثبات شد. محققین با مقایسه سه روش رگرسیون ناپارامتریک NPMR، MARS و LRT اظهار داشتند که هر سه مدل از توانایی بالایی به لحاظ تفسیر اکولوژیکی و تولید منحنی عکس‌العمل گونه‌های گراس نسبت به متغیرهای محیطی برخوردار بودند، ولی NPMR در تفسیر پراکنش گونه‌ها مؤثرتر عمل نمود. اندریامپرانی و همکاران (۳۱)، اَورت و همکاران (۳۲) و شرستا و همکاران (۴۰) نیز کارایی این مدل را در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای تأیید نمودند. طبق آنالیز حساسیت، متغیرهای اقلیمی نسبت به متغیرهای خاکی اهمیت بیشتری در پراکنش گونه داشتند. استقرار و رشد رستنی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک به طور عمده تحت تأثیر شرایط اقلیمی به ویژه رطوبت و در مرحله بعدی تحت تأثیر عوامل خاکی می‌باشد (۵). شیخ-زاده و همکاران (۳۹) جهت پیش‌بینی وقوع و زوال گونه گون زرد تحت سناریوهای تغییر اقلیم، متغیرهای اقلیمی میانگین دمای سالانه، حداکثر دمای گرمترین ماه و بارش سردترین فصل را به عنوان ورودی مدل‌های آماری انتخاب کردند که در مطالعه حاضر نیز این متغیرها به عنوان متغیرهای مستقل مدل لحاظ شدند.

طبق مطالعه طیموری‌اصل و همکاران (۱۸) عوامل اقلیمی ممکن است به عنوان مهمترین عوامل کنترل کننده احیاء و گسترش جمعیت‌های طبیعی بر زیستایی جمعیت‌های گون زرد مؤثر باشند.

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲
DOI: 10.22034/jpr.2025.2274



شکل ۳. منحنی‌های پاسخ گون زرد به شیب تغییرات عوامل محیطی.

علی‌اکبری و همکاران (۲۰) متوسط دمای سالانه، و خداقلی و صبوحی (۹) دمای سرمایشی و سپس بارش را از عوامل مؤثر بر پراکنش این گونه معرفی نمودند. در مطالعه ساکی و همکاران (۱۳) نیز از بین پارامترهای اقلیمی، متغیرهای مربوط به درجه حرارت مهمترین عامل در پراکنش گون زرد می‌باشد که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. علت تأثیر بالای تغییرات فصلی دما را می‌توان به تغییرات زیاد مکانی دما در منطقه مورد مطالعه نسبت داد که این امر می‌تواند ناشی از توپوگرافی پیچیده آن باشد. نتایج مطالعه نقی‌پور برج و همکاران (۲۷) نیز مؤید این مطلب می‌باشد.

با توجه به منحنی‌های عکس‌العمل ارائه شده نیز مشخص است که گونه گون زرد به مقدار مشخصی رطوبت و دما برای رشد نیاز دارد. معمولاً در دمای بالاتر از ۷ درجه سانتیگراد اغلب گیاهان شروع به فتوسنتز کرده و در بیش از ۱۰ درجه سانتیگراد قادر به رشد هستند. در ارتفاعات بالا با کاهش دما، تبخیر و تعرق کمتر می‌شود و گیاه با مقدار بارندگی سالانه کمتر امکان رشد پیدا می‌کند، در حالیکه در ارتفاعات پایین‌تر که دما بیشتر است، برای ایجاد شرایط مشابه لازم است که بارندگی بیشتر باشد. با توجه به اینکه گون زرد در ارتفاعات بالا رشد می‌کند و درجه حرارت در ارتفاعات بالا و خصوصاً در ماه سرد سال کاهش می‌یابد، درجه حرارت تأثیر زیادی بر پراکنش آن دارد. به گونه‌ای که افزایش میانگین دمای سالانه، حداکثر دما در گرمترین ماه و میانگین دما در سردترین فصل، رشد گونه مذکور را افزایش می‌دهند.

در خصوص پراکنش گونه‌ای در ارتباط با عوامل محیطی و نحوه عکس‌العمل آن به گرادیان‌های محیطی، صفائی و همکاران (۱۶) حالت بهینه حضور گون زرد در مراتع فریدونشهر اصفهان را در متوسط دمای سالانه ۱۵-۱۰/۳ درجه سانتیگراد ذکر نمودند. بررسی‌های باقرزاده (۳) نیز مؤید آن بود که متوسط حداقل و حداکثر درجه حرارت سالانه به ترتیب ۴ و ۱۶ درجه سانتیگراد از ویژگی‌های رویشگاه‌های گونه‌های مولد کتیرا در استان اصفهان می‌باشد که با منحنی مربوط به این متغیر در شکل ۳ مطابقت دارد. اسدیان (۱) نیز در مطالعات آت اکولوژی و شیوه

DOI: 10.22034/jpr.2025.2274 مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲

بهره‌برداری دو گونه گون سفید و گون زرد بیان کرد گون-ها در متوسط درجه حرارت ۱۵-۱۰ درجه سانتیگراد به خوبی رشد می‌کنند و استقرار می‌یابند. مقاومت به خشکی گون‌ها از یک طرف به علت سیستم ریشه‌ای طویل و گسترده آنهاست که می‌توانند ریشه‌های خود را از طریق شکاف‌های موجود به عمق خاک رسانده و رطوبت مورد نیاز خود را تأمین کنند و از طرف دیگر مربوط به تاج گیاه و برگ‌های کوچک آن است که آب کمی را از طریق تعرق از دست می‌دهند. علت شکست منحنی حضور گونه در بارش ۱۱۰-۶۵ میلیمتر در سردترین فصل بنا به یکی از دلایل زیر می‌باشد: ۱) رقابت بین گونه‌ای می‌تواند سبب کاهش حضور گونه شده باشد. رقابت با گراس‌ها سبب شده که گراس‌ها این گونه را از محدوده مشترک اخراج و آن محدوده را به تنهایی اشغال کنند. البته تأثیر روابط متقابل با سایر موجودات زنده اکوسیستم بر تغییر پراکنش جغرافیایی گیاهان را نیز نباید نادیده گرفت (۱۵). ۲) در این دامنه بارشی با کمبود داده‌های ورودی مواجه بودیم، ۳) اراضی تغییر کاربری داده و از مرتع به کشاورزی تبدیل شدند و یا ممکن است در مناطق حریم روستا واقع شده باشند که در نتیجه برداشت، نقاط غیاب گونه را نشان داده-اند و سبب شده که در این محدوده از بارش، منحنی روند کاهشی نشان دهد. افزایش میزان اسیدیته مانند تجمع املاح در محدوده ریشه بر روی خاصیت اسمزی اثر گذاشته، جذب آب برای گیاه سخت شده و مشکلاتی برای گیاه به وجود می‌آورد (۲۱). وهابی (۲۸) بیان کرد که گون زرد با اسیدیته خنثی تا کمی قلیایی سازگاری دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. فتاحی و همکاران (۲۲) و صفائی و همکاران (۱۷) نیز طی مطالعه‌ای اذعان داشتند که تراکم گون زرد با اسیدیته خاک رابطه معکوس دارد و این گونه عموماً در خاک‌های با اسیدیته خنثی تا کمی قلیایی حضور دارد. علی‌اکبری و همکاران (۲۱) در مطالعات خود در خصوص شرایط خاکی رویشگاه گون زرد در مراتع فریدن اصفهان نشان دادند که از بین خصوصیات خاکی بررسی شده فاکتورهای آهک، بافت خاک و اسیدیته بر روی رشد و استقرار گون زرد بیشترین تأثیر را دارا می‌باشند. البته بایستی خاطر نشان کرد که در مطالعه حاضر، به دلیل عدم استفاده از عوامل بیولوژیک، انسانی و مدیریتی که بر پراکنش گونه مؤثرند، آشیان اکولوژیک بالقوه گون زرد نقشه‌برداری شد که می‌تواند از متفاوت آشیان اکولوژیک واقعی آن باشد.

نتیجه‌گیری کلی

از اهداف این مطالعه، ارائه روشی برای تجزیه و تحلیل رابطه بین حضور و غیاب گونه گیاهی با عوامل محیطی بود. بر اساس نتایج آزمون نرمالیتی، همه متغیرهای خاک به استثنای درصد سیلت، از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کردند که با انجام تبدیل‌های مختلف نرمال شدند. برای متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی، درصد شن و سنگ و سنگریزه که تبدیل داده بر روی آنها بی‌نتیجه بود، از روش معکوس وزنی فاصله جهت میانیابی و تهیه نقشه استفاده گردید. برای متغیرهای درصد سیلت، رس و رطوبت اشباع پس از ترسیم واریوگرام مشخص شد که نوع توزیع این سه متغیر از نوع همسانگرد و کلاس وابستگی آنها متوسط بود. در بخش مدلسازی با توجه به شاخص‌های ارزیابی، مدل تولید شده به روش NPMR در آستانه‌های انتخاب شده از توانایی بالایی در پیش‌بینی پراکنش مکانی گون زرد برخوردار بود. بر اساس نقشه‌های تولید شده، گونه بیش از ۳۰ درصد و طبقه ضعیف شایستگی رویشگاه نیز نیمی از سطح منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. با توجه به نتایج منحنی‌های پاسخ گونه به عوامل مؤثر شناسایی شده طی آنالیز حساسیت، حداکثر احتمال رخداد گونه در میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتیگراد، حداکثر دما در گرمترین ماه برابر ۳۳ درجه سانتیگراد و میانگین دما در سردترین فصل برابر ۲- درجه سانتیگراد رخ داد. همچنین در صورتیکه خاک خنثی و کمی قلیایی، بارندگی در سردترین فصل

DOI: 10.22034/jpr.2025.2274 مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲

۱۱۰ میلیمتر و تغییرات فصلی درجه حرارت ۹/۲ باشد، گونه بیشترین احتمال حضور را دارد. در مجموع گونه‌های گیاهی با توجه به خصوصیات منطقه رویشی خود، دامنه بردباری و احتیاجات اکولوژیک با برخی عوامل محیطی ارتباط دارند. بنابراین، با تعیین خصوصیات اکولوژیک معرف هر گونه گیاهی حتی چنانچه گونه‌های موجود در منطقه به لحاظ حفاظتی یا علوفه‌ای ارزش ناچیزی داشته باشند، می‌توان گونه‌های با ارزش اما با احتیاجات اکولوژیک مشابه را جایگزین نمود. پیشنهاد می‌شود قابلیت مدل مذکور برای ارزیابی اثر احتمالی تغییر اقلیم در آینده بر پراکنش گون زرد در مقیاس وسیع ارزیابی شود. ارتباط پراکنش گونه گیاهی با عوامل انسانی و مدیریتی خصوصاً چرا و کاربری اراضی مورد بررسی قرار گیرد و به عنوان یک عامل ورودی در مدلسازی به کار رود. همچنین با ایجاد یک پایگاه داده مطمئن و قابل دسترس، داده‌های خاک در سطح استان تهیه شده و مدل به کار رفته یا حتی سایر مدل‌ها به کل استان تعمیم یابند.

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.

منابع

۱- اسدیان، ق. و معصومی، ع.ا. ۱۳۷۶. آت‌اکولوژی گون‌های مولد کتیرا نحوه بهره‌برداری در دامنه جنوبی الوند همدان. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۴(۱)، ۳۱-۲۱.

۲- امیری، م.، ترکش، م. و جعفری، ر. ۱۳۹۸. پیش‌بینی پراکنش گونه *Artemisia sieberi* Besser تحت تأثیر اقلیم در مراتع استپی و نیمه-استپی ایران-تورانی. مدیریت بیابان، ۱۳، ۴۸-۲۹.

۳- باقرزاده، ک. ۱۳۷۹. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی ملی شناسایی و تعیین گون‌های مولد کتیرا در استان اصفهان. مرکز تحقیقات کشاورزی و متابع طبیعی اصفهان. ۵۷ صفحه.

۴- بهلولی، ر. و دهشیری، م.م. ۱۳۹۲. مطالعه ریخت‌شناسی و تشریح تعدادی از گونه‌های *Astragalus* L. (بخش *Incani* DC.) در بروجرد. پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)، ۲۶(۴)، ۴۲۲-۴۱۲.

۵- جعفری، م.، زارع چاهوکی، م.ع.، طویلی، ع. و کهندل، ا. ۱۳۸۵. بررسی رابطه خصوصیات خاک با پراکنش گونه‌های گیاهی در مراتع استان قم. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۳، ۱۱۶-۱۱۰.

۶- حاجبی، ع.، میرداوودی، ح.ر. و سلطانی‌پور، م.ا. ۱۴۰۱. بررسی برخی ویژگی‌های خاک و عوامل فیزیوگرافی مؤثر در استقرار گونه انحصاری کلاجوک *Platychaete aucheri* (Boiss.) Boiss) در استان هرمزگان. مرتع، ۱۶(۲)، ۲۹۸-۲۸۴.

۷- حبیبی کیلک، ش.، علوی، س.ج.، اسماعیل‌زاده، ا.، ۱۳۹۹. تحلیل منحنی پاسخ گونه شمشاد هیرکانی (*Buxus hyrcana* Pojark) نسبت به برخی متغیرهای محیطی در جنگل‌های هیرکانی. پژوهش و توسعه جنگل، ۶(۱)، ۱۴-۱.

۸- حسنی پاک، ع. ۱۳۸۹. زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران، ۳۳۰ صفحه.

۹- خداقلی، م. و صبوحی، ر. ۱۳۹۸. واکاوی تغییرات متغیرهای اقلیمی و تأثیر آن بر رویشگاه‌های گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) استان اصفهان. مرتع و آبخیزداری، ۷۲(۲)، ۳۷۴-۳۵۹.

۱۰- خداقلی، م.، صبوحی،ر.، اسکندری، ذ.، ۱۳۹۳. تحلیل روند گذشته و پیش‌بینی آینده خشکسالی در استان اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۶۷، ۳۷۹-۳۶۷.

۱۱- رئوفی‌راد، و.، باقری، س.، جعفری، م. و میرطالبی، ا. ۱۳۹۵. برآورد ارزش اقتصادی گون سفید (*Astragalus gossypinus*) و گون زرد (*Astragalus verus*) در مقایسه با درآمد حاصل از علوفه مراتع در استان اصفهان. تحقیقات منابع طبیعی تجدید شوند، ۷(۴)، ۵۷-۴۵.

۱۲- رسولی، ن.، فرپور، م.ه.، محمودآبادی، م. و اسفندیارپور، ع. ۱۴۰۱. مطالعه تکامل خاک متأثر از اقلیم و توپوگرافی در منطقه ساردوئیه-بم (جنوب استان کرمان). مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۲(۲)، ۲۲-۱.

DOI: 10.22034/jpr.2025.2274 مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲

۱۳- ساکی، م.، ترکش، م.، بصیری، م. و وهابی، م.ر. ۱۳۹۱. کاربرد مدل رگرسیون لجستیک درختی در تعیین رویشگاه بالقوه گونه گیاهی گون زرد *Astragalus verus*. بوم‌شناسی کاربردی، ۱(۲)، ۳۸-۲۷.

۱۴- سپاده، د.، صلاحی، ب.، علیجانی، ب. و زینالی، ب. ۱۴۰۰. مطالعه اثر رودباد قطبی بر بارش‌های فصل سرد ایران. هواشناسی و علوم جو، ۴(۳)، ۱۹۲-۱۷۸.

۱۵- سنگونی، ح.، وهابی، م.ر.، ترکش اصفهانی، م. و بابایی، ع. ۱۳۹۷. تأثیر مدیریت چرا بر پراکنش جغرافیایی دو گونه گراس فصل سرد در مراتع منطقه فریدن. پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)، ۳۱(۳)، ۶۳۹-۶۲۶.

۱۶- صفائی، م.، ترکش، م. و بصیری، م. ۱۳۹۲. تهیه منحنی‌های پاسخ گونه گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) نسبت به شیب تغییرات محیطی با استفاده از روش Non-Parametric Multiplicative Regression در منطقه فریدون‌شهر استان اصفهان. گیاه و زیست‌بوم، ۳۶، ۶۴-۵۳.

۱۷- صفائی، م.، ترکش، م.، بصیری، م. و بشری، ح. ۱۳۹۲. مدلسازی رویشگاه بالقوه گونه گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) با استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک. مرتع، ۷(۱)، ۵۱-۴۰.

۱۸- طیموری‌اصل، س.، نقی‌پور، ع.ا.، اشرف‌زاده، م.ر.، حیدریان آقاخانی، م. ۱۳۹۹. پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) در زاگرس مرکزی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۱(۲)، ۸۳-۶۸.

۱۹- علوی، س.ج، نوری، ز. و زاهدی امیری، ق. ۱۳۹۶. منحنی عکس‌العمل گونه راش نسبت به متغیرهای محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته در جنگل خیررود، نوشهر. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۴(۱)، ۴۲-۲۹.

۲۰- علی‌اکبری، م.، جعفری، ر.،وهابی، م.ر.، سعادت‌فر، ا. ۱۳۸۹. تعیین رویشگاه بالقوه گونه گون زرد با استفاده از تلفیق GIS و سنجش از دور. کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۱(۱)، ۲۹-۱۵.

۲۱- علی‌اکبری، م.، وهابی، م.ر.، جعفری، ر.، کریم‌زاده، ح.ر.، بنی-ابراهیمی، م. ۱۳۹۱. بررسی و مطالعه شاخص‌های رویشگاهی دو گونه علف گندمی کرکدار (*Agropyron trichophorum* Link, Rieyt) و گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) با توجه به عامل خاک در مراتع فریدن اصفهان. گیاه و زیست‌بوم، ۳۰، ۶۸-۵۹.

۲۲- فتاحی، ب.، آقابیگی امین، س.، ایلدرمی، ع.، اسدیان، ق.، چهری، م. و نوری، س. ۱۳۸۷. بررسی ارتباط گون زرد (*Astragalus parrowianus*) با عوامل خاکی و توپوگرافی در مراتع کوهستانی زاگرس (مطالعه موردی: مراتع گله‌بر همدان). مرتع، ۲(۳)، ۲۲۴-۲۰۸.

۲۳- فرزادمهر، ج. و سنگونی، ح. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گاوزبان وحشی در استان خراسان رضوی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷(۳)، ۱۶۲-۱۴۵.

۲۴- کاظمی، ح. و قربانی، خ. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های مختلف درون-یابی به منظور تخمین و پهنه‌بندی متغیرهای بارش در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا جهت کشت دیم غلات پاییزه. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۴، ۲۳-۱.

۲۵- محمودوند، س.، خدایاری، ح. و ترنیان، ف. ۱۳۹۹. تهیه نقشه متغیرهای زیست‌اقلیمی استان لرستان با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری و رگرسیونی. مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۱(۳)، ۱۷-۱.

۲۶- معصومی، ع.ا. ۱۳۸۵. گون‌های ایران (جلد ۴). انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران. ۷۸۶ ص.

۲۷- نقی‌پور برج، ع.ا.، حیدریان آقاخانی، م. و سنگونی، ح. ۱۳۹۸. کاربرد روش مدلسازی اجماعی در پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.). پژوهش-های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)، ۳۲(۳)، ۷۵۸-۷۴۷.

۲۸- وهابی، م.ر.، بصیری، م.، مقدم، م.ر. و معصومی، ع.ا. ۱۳۸۵. تعیین شاخص‌های رویشگاهی مؤثر برای ارزیابی گون‌زارهای کتیرایی در استان اصفهان. نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۵۹(۴)، ۱۰۲۹-۱۰۱۳.

29- Allouche, O., Tsoar, A. and Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa, and the true skill statistics (TSS). Journal of Applied Ecology, 43(6), 1223-1232. 10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x.

30- Amiri, M., Tarkesh, M., Jafari, R. and Jetschke, G., 2020. Bioclimatic variables from precipitation and temperature records vs. remote sensing-based bioclimatic variables: Which side can perform better in species distribution modeling? Ecological

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲ DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

Informatics, 57, 101060. 10.1016/j.ecoinf. 2020.101060.

31- Andriamparany, J.N., Brinkmann, K., Wiehle, M., Jeannoda, V. and Buerkert, A., 2015. Modelling the distribution of four *Dioscorea* species on the Mahafaly Plateau of south-western Madagascar using biotic and abiotic variables. Agriculture, Ecosystems & Environment, 212, 38-48. 10.1016/j.agee.2015.06.019.

32- Averett, J.P., McCune, B., Parks, C.G., Naylor, B.J., DelCurto, T. and Mata-González, R., 2016. Non-Native plant invasion along elevation and canopy closure gradients in a Middle Rocky mountain ecosystem. PLoS ONE, 11(1): e0147826. 10.1371/journal. pone.0147826.

33- Bonachela, J.A., Burrows, M.T. and Pinsky, M.L., 2021. Shape of species climate response curves affects community responses to climate change. Ecology Letters, 24(4), 708-718. 10.1111/ele.13688.

34- Ghahremaninejad, F., Bagheri, A. and Maassoumi, A.A., 2012. Two new species of *Astragalus* L. sect. Incani DC. (Fabaceae) from the Zanjan province (Iran). Adansonia, 34(1), 59-65. 10.5252/a2012n1a6.

35- Goodchild, M. and Jeansoulin R. (eds). 1998. Data quality in geographic information from error to uncertainty, Hermes, Paris. 192 p.

36- McCune, B., 2006. Non-parametric habitat models with automatic interactions. Journal of Vegetation Science, 17: 819-830. jstor.org/stable/4499186.

37- McCune, B. and Mefford, M.J., 2004. HyperNiche. Multiplicative habitat modeling. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A. 24 pages. http://www.pcord.com.

38- 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. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 314 p. jstor.org/stable/j.ctt7stnh.

39- Sheikhzadeh, A., Tarkesh Esfahani, M. and Bashari, H., 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.

40- Shrestha, G., Petersen, S. and Clair, L.S.T., 2012. Predicting the distribution of the air pollution sensitive lichen species *Usnea hirta*. The Lichenologist, 44(4), 511-521. 10.1017/S0024282912000060.

41- Swets, J., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240, 1285-1293. 10.1126/science. 3287615.

42- Tarkesh, M., 2008. Predictive vegetation modelling: comparison of methods, effect of sampling design and application on different scales. PhD thesis, Jena University. 100 p.

43- Tarkesh, M. and Jetshcke, G., 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. Environmental and Ecological statistics, 19, 437-457. 10.1007/s10651-012-0194-3.

44- Webster, R. and Oliver, M.A., 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley press, 271 p. 10.1002/9780470517277.

مقاله پژوهشی، صفحات ۴۸-۳۲ DOI: 10.22034/jpr.2025.2274

The response of *Astragalus verus* Oliver to the most important environmental factors affecting its distribution using the Non-Parametric Multiplicative Regression (NPMR) method in the western rangelands of Isfahan province

Tarkesh M.[1], Monsef N.[1], Vahabi M.R.[1], Pourmanafi S.[2], and Amiri M.[1,3]

[1] Dept. of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. of Iran.

[2] Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. of Iran.

[3] Dept. of Agricultural Science, Technical and Vocational University, Tehran, I.R. of Iran.

Abstract

The distribution of plant species in ecosystems is not random, but is influenced by environmental factors. The present study was carried out with the aim of investigating the effect of climatic, soil, and physiographic factors on the distribution of *Astragalus verus* Oliver as an indicator species in western rangelands of Isfahan province and its response to environmental gradients. After recording the species presence and absence points using a stratified-random sampling method, the species' habitat suitability was modeled using the Non Parametric Multiplicative Regression (NPMR) model was used in HyperNiche software. For the edaphic variables that were normalized according to the type of skewness through data transformation, kriging methods were used, and for the variables that did not have a normal distribution, the Inverse Distance Weighting (IDW) method was used to produce the map. The spatial continuity of these variables was checked by selecting the best variogram model fitted in GS+ 0.9 software. According to the species response curves to the variables specified by the LogB index, the maximum presence of the species occurred in the precipitation of 110 mm in the coldest season, the annual mean temperature of 11 °C, and soils with neutral pH to slightly alkaline pH (=7.8). Also, when the mean temperature of the coldest season was -2 °C, the maximum temperature of the warmest month was 33 °C, and the temperature seasonality was 9.2, the maximum presence of the species was observed. The performance of the model was reported to be excellent based on the evaluation statistics using the replacement method and using the independent data method. On the habitat suitability map, the poor suitability class occupied half of the study area. By choosing the optimal threshold of 52% in the replacement method and creating a fuzzy habitat suitability map, the species was present in 30.72% of the study area. The results of this study can be used to improve and rehabilitate *Astragalus* habitats in areas with similar ecological conditions.

Keywords: ecology, response curve, interpolation, environmental gradient, NPMR model.