مقایسه کارایی دو مدل رگرسیون تجمعی تعمیم یافته (GAM) و رگرسیون درختی تقویت‌شده (BRT) در پیش‌بینی رویشگاه *Thymus kotschyanus* در مراتع طالقان میانی

انور سنایی[۱]، محمدعلی زارع چاهوکی*[۲] و غلامعلی حشمتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۰۲

چکیده

در این تحقیق پیش‌بینی پراکنش رویشگاه *Thymus kotschyanus* با استفاده از دو روش رگرسیون افزایشی تعمیمی (GAM) و رگرسیون تقویت شده درختی (BRT)، در مراتع طالقان میانی بررسی شد. با توجه به هدف از تحقیق حاضر، اطلاعات پوشش گیاهی و عوامل رویشگاهی گونه مورد مطالعه از قبیل توپوگرافی، اقلیم، زمین‌شناسی و خاک جمع‌آوری گردید. برای تهیه این اطلاعات از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و نمونه‌برداری میدانی در ۳۵ سایت استفاده شد. حضور و عدم‌حضور رویشگاه گونه مورد مطالعه در ۷۳۵ پلات یک متر مربعی به روش تصادفی-سیستماتیک ثبت شد. همچنین اطلاعات واحدهای نمونه‌برداری از قبیل شیب، ارتفاع، جهت و واحد زمین‌شناسی نیز پس از ثبت موقعیت پلات‌های نمونه‌برداری شده از نقشه‌های رقومی ارتفاع و زمین‌شناسی منطقه تهیه شد. علاوه بر آن از هر واحد نمونه‌برداری نیز ۵ نمونه خاک برداشت و در آزمایشگاه تجزیه شیمیایی خصوصیات خاک از قبیل سنگریزه، بافت خاک، ماده آلی، آهک و فسفر انجام شد. نتایج نشان داد که احتمال حضور رویشگاه گونه *T. kotschyanus* با آهک، پتاسیم و سیلت رابطه افزایشی و با شن و فسفر رابطه کاهشی دارد. همچنین رابطه حضور این گونه با ارتفاع و سنگریزه به‌صورت گوسی است. نتایج دو روش رگرسیونی نشان داد که هر دو روش قادر به پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه مورد مطالعه به صورت بسیار عالی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: عوامل محیطی، *Thymus kotschyanus*، رگرسیونی تجمعی تعمیم یافته (GAM)، رگرسیون درختی تقویت‌شده (BRT)، مدل پیش‌بینی، طالقان میانی.

[۱]. دکتری مرتعداری، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[۲]. استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*: نویسنده مسئول: mazare@ut.ac.ir

[۳]. استاد گروه مرتعداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]

مقدمه

مهم‌ترین پرسشی که از دیرباز ذهن محققان مختلف را به خود مشغول کرده این است که چگونه گونه‌های گیاهی در محیط خود پراکنش یافته‌اند و چه عواملی باعث تمایز رویشگاهی آنها از یکدیگر شده است. به‌طور کلی رویش گونه‌های گیاهی در هر اکوسیستم تحت تأثیر عوامل اقلیمی (۱۴ و ۲۱)، توپوگرافی (۲۰)، خاکی (۲۲)، عوامل انسانی و عوامل مربوط به کنش‌های بین گونه‌ای و جوامع گیاهی (۱۹) در تاریخ زندگی هر گیاه است. عملکرد یک اکوسیستم در درجه اول وابسته به گونه‌های غالب آن است که در سالیان دراز با شرایط محیطی آن اکوسیستم سازگاری پیدا کرده‌اند، بنابراین با شناخت عوامل محیطی تأثیرگذار بر گونه‌های گیاهی غالب می‌توان چگونگی عملکرد یک اکوسیستم را ارزیابی و آن اکوسیستم را مدیریت کرد. امروزه پیشرفت‌های علوم کامپیوتری به همراه فنون آماری پیشرفته به توسعه روش‌های آنالیز داده‌های بوم‌شناسی کمک فراوانی کرده است و ابزاری قوی برای بررسی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌ای و پیش‌بینی پراکنش آنها (۸ و ۱۱) به‌وجود آورده است. در زمینه پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور با استفاده از روش‌های مختلف انجام شده است.

زارع چاهوکی (۲۰۰۶) مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه گونه‌های گیاهی در مراتع پشتکوه یزد را مورد مطالعه قرار داد. ایشان مدل‌سازی را با استفاده از رگرسیون لوجستیک انجام داد. پیری صحراگرد و همکاران (۲۰۱۴) مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی در مراتع غرب حوض سلطان استان قم با استفاده از رگرسیون لوجستیک را انجام دادند. نتایج نشان داد که عوامل هدایت الکتریکی، بافت خاک، اسیدیته، مقدار گچ، آب در دسترس، مقدار سنگریزه و آهک بیشترین نقش را در پراکنش جوامع گیاهی مورد مطالعه دارد. هم‌چنین بیان کردند که رگرسیون لوجستیک قادر است رویشگاه گونه‌های با دامنه بوم‌شناختی محدود را بهتر از گونه‌هایی با دامنه بوم‌شناختی گسترده پیش‌بینی کند. زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۴) مدل‌سازی پراکنش مکانی رویشگاه‌های *Agropyron intermedium* و *Stipa barbata* را با روش رگرسیون لوجستیک در مراتع طالقان میانی انجام دادند. نتایج نشان داد که ظهور و پراکنش گونه *S. barbata* با افزایش آهک خاک رابطه مستقیم دارد، هم‌چنین در استقرار و توزیع گونه *A. intermedium* افزایش ارتفاع از سطح دریا (تا ۲۵۵۰ متر) بیشترین تأثیر را دارد.

قابلیت مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی گونه‌های گیاهی در مراتع طالقان میانی توسط زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۴) بررسی شد. نتایج نشان داد که این روش با استفاده از پارامترهای خاکی و اقلیمی توانایی لازم در پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه‌های *Agropyron intermedium*، *Astragalus gossypinus*، *Thymus kotschyanus* و *Stipa barbata* را دارد.

پیری صحراگرد و زارع چاهوکی (۲۰۱۵) روش‌های رگرسیون لوجستیک، شبکه عصبی مصنوعی حداکثر آنتروپی را برای پیش‌بینی پراکنش پوشش گیاهی مراتع حوض سلطان قم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که رگرسیون لوجستیک برای پیش‌بینی پراکنش گونه *Halocnemum strobilaceum* مناسب است. هم‌چنین روش آنتروپی حداکثر نیز برای پیش‌بینی رویشگاه *Artemisia sieberi* مناسب‌تر می‌باشد. جعفریان و کارگر (۲۰۱۷) به مقایسه دو روش GLM و GAM در پیش‌بینی پراکنش گونه *Thymus kotschyanus* در مراتع پلور استان مازندران پرداختند. نتایج نشان داد که در روش GLM این گونه با آهک و رطوبت نسبی و در روش GAM با آهک، نیتروژن و ارتفاع از سطح دریا رابطه دارد.

گوسان و زیمیرمان (۲۰۰۰) مدل‌های پیش‌بینی پراکنش رویشگاه در بوم‌شناسی را مورد بررسی قرار دادند. رگرسیون چندگانه و فرم عمومی شده آن (GLM) اغلب برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها استفاده می‌شود. ایشان بیان کردند که انتخاب روش‌های مدل‌سازی به هدف مطالعه، مقیاس مورد نظر و کاربرد مدل بستگی دارد. هم‌چنین انتخاب یک روش نباید به تنهایی با در نظر گرفتن آمار باشد، بلکه تعدادی از این روش‌ها برای یافتن شکل و طبیعت پاسخ گونه یا آشیان تحقق مناسب هستند. بیو و همکاران (۱۹۹۸) به‌منظور پیش‌بینی توزیع گونه‌های گیاهی در پایین‌دست رودخانه‌ای در بلژیک پاسخ گونه‌ها به شرایط سایت با استفاده از مدل‌های GLM و GAM و با

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]

استفاده از روش‌های رگرسیون کلاسیک مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که هر دو مدل استفاده شده در این پژوهش به خوبی قابلیت پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی را دارند. در عین حال GAM قابلیت انعطاف‌پذیری دارد و نتایج آن به واقعیت نزدیک‌تر است.

زانی وسکی و همکاران (۲۰۰۲) به مقایسه مدل‌های افزایشی تعمیمی (GAMs)، برای داده‌های حضور و عدم‌حضور ۴۳ گونه سرخس در نیوزیلند با مدل‌های افزایشی تعمیمی GAM و مدل ENFA برای داده‌های حضور واقعی و عدم‌حضور غیرواقعی پرداختند. نتایج مدل GAM نشان داد که میانگین درجه حرارت سالانه و میانگین تابش خورشید سالانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل بعد از عامل سنگ‌شناسی می‌باشند. مدل GAM حاصل از کاربرد داده‌های عدم‌حضور غیرواقعی نسبت به مدل ENFA همبستگی بالاتری با مدل GAM حاصل از کاربرد داده‌های حضور و عدم‌حضور واقعی داشتند. اما مدل ENFA حاصل از کاربرد داده‌های عدم‌حضور غیرواقعی نسبت به مدل GAM از نظر تعیین مناطقی که تنوع بیولوژیکی پتانسیل دارند شباهت بیشتری با مدل GAM حاصل از کاربرد داده‌های حضور و عدم‌حضور واقعی داشتند. آستین (۲۰۰۷) مدل‌های پراکنش و نظریه بوم‌شناسی را ارزیابی و برخی از روش‌های جدید شامل GLM، GAM، رگرسیون کوانتایل، رگرسیون وزن‌دهی جغرافیایی و مدل‌سازی معادلات ساختاری را بررسی کردند. رگرسیون کوانتایل با قانون حداقل و رگرسیون کمی ساختار است و مدل‌سازی معادلات ساختاری شامل متغیرهایی هستند که به‌طور مستقیم مشاهده و اندازه‌گیری نشده‌اند و برای آن باید بر روی متغیرهای مشاهده نشده که دارای خطاهای اندازه‌گیری هستند، تکیه کرد.

لمک و براون (۲۰۱۲) به ارزیابی اهمیت نسبی متغیرهای وابسته و انتخاب بهترین روش مدل‌سازی پراکنش بالقوه ۲۲ گونه گیاهی مهاجم در جنگل‌های جنوب ایالات متحده آمریکا با استفاده از پنج روش مدل‌سازی پرداختند. ایشان برای مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار R و پنج مدل Maxent، رگرسیون لوجستیک، جنگل تصادفی (RF)، رگرسیون درختی تقویت شده (BRT) و SVM استفاده کردند. آنها بیان کردند که دو روش BRT و Maxent بهترین نتیجه را در توصیف روابط غیرخطی داشته‌اند و مدل رگرسیون لوجستیک برای ارزیابی روابط دونمایی مناسب نیست. دوان و همکاران (۵) به بررسی عملکرد روش‌های مختلف BIOCLIM, DOMAIN, MAHAL, RF, MAXENT, و SVM در پیش‌بینی پراکنش پنج گونه *Pinus massoniana, Betula platyphylla, Quercus wutaishanica, Quercus mongolica and Quercus variabilis* پرداختند. ایشان بیان کردند که بر طبق نتایج حاصل شده، می‌توان شش روش تعیین پیش‌بینی را به دو دسته تقسیم کرد: گروه اول روش‌های با عملکرد بالا شامل MAHAL، RF، MAXENTو SVM و گروه دوم روش‌هایی با عملکرد و کارایی پایین شامل BIOCLIM و DOMIN.

با توجه به بررسی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، اگر چه در کشور سوابق مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها تقریباً زیاد است، ولی بیشتر با استفاده از روش‌هایی چون رگرسیون لجستیک، Maxent و شبکه عصبی مصنوعی بوده است و کمتر به دیگر روش‌های آماری دیگر پرداخته شده است، لذا در این تحقیق هدف این بود تا اینکه کارایی دو روش مختلف آماری، Generalized Additive Model (GAM) و Boosted Regression Tree (BRT) در پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه *Thymus kotschyanus* بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در بخشی از مراتع طالقان میانی انجام شد. در این مطالعه برای تهیه نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی اولیه با توجه به محدوده مورد مطالعه، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برای توجیه کلی منطقه استفاده شد و با توجه به اینکه نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ از روی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ تهیه شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفت و از طریق این نقشه‌ها، در محیط نرم‌افزار Arc GIS نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع، مدل رقومی ارتفاع تولید شدند. از تلفیق نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع و زمین‌شناسی منطقه، نقشه واحدهای نمونه‌برداری منطقه تهیه و ۳۵ واحد کاری به عنوان واحدهای نمونه‌برداری انتخاب شدند. نمونه‌برداری بر اساس روش تصادفی-سیستماتیک و در مناطق معرف هر

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]

یک از واحدهای نمونه‌برداری انجام شد. در این مطالعه، سطح پلات یک مترمربع انتخاب و بعد از بازدید میدانی از منطقه دو الی سه ترانسکت (طول ترانسکت‌ها با توجه به طول دامنه و تغییرات پوشش گیاهی انتخاب شد) در مناطق معرف هر یک از واحدهای نمونه‌برداری مستقر شده و در راستای ترانسکت‌ها، پلات‌ها مستقر و نمونه‌برداری صورت گرفت. تعداد پلات‌ها با توجه به تغییرات پوشش گیاهی و با استفاده از روش آماری (۲۸)، ۲۱ عدد تعیین شد. در هر پلات، ابتدا فهرست گیاهان موجود در هر پلات ثبت و فرم رویشی هر گونه گیاهی (بوته‌ای، پهن‌برگان، گندمیان) و حضور و عدم‌حضور گونه *T. kotschyanus* در ۷۳۵ پلات نمونه‌برداری شده یادداشت شد.

برای تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر روی پراکنش گونه مورد مطالعه با روش‌های رگرسیونی GAM و BRT، نیاز به داده‌های حضور گونه و لایه‌های محیطی می‌باشد. هم‌چنین از هر واحد نمونه‌برداری، ۵ نمونه خاک برداشت و در آزمایشگاه عوامل خاکی شامل درصد ماده آلی، بافت خاک (با روش هیدرومتری بایکاس)، آهک (روش گازومتری)، ماده آلی (با روش والکی بلک)، فسفر قابل جذب (با دستگاه اسپکتومتر) و پتاسیم قابل جذب (با دستگاه فتومتر) اندازه‌گیری و عوامل توپوگرافی شامل شیب، ارتفاع و جهت برای هر پلات با استفاده از GPS و GIS مشخص شدند و لایه‌های آنها تهیه و تمام آنها در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و به لایه‌های رستری تبدیل و در نهایت تبدیل به فرمت ASCII شدند.

پس از تهیه نقشه رستری متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus*، روابط بین متغیر پاسخ (رویشگاه *T. kotschyanus*)، با متغیرهای محیطی به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی با استفاده از روش‌های مختلف رگرسیونی GAM و BRT، با استفاده پکیج‌های gbm و gam، در نرم‌افزار R انجام شد. نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از دو روش رگرسیونی اشاره شده در بالا به‌صورت جداگانه در محیط نرم‌افزار R ترسیم شد. هم‌چنین مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) با استفاده از پکیج ROCR در نرم‌افزار R محاسبه شد. قابل ذکر است که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل پیش‌بینی و ۳۰ درصد آن نیز برای ارزیابی مدل به‌کار برده شدند و هر دو دسته از داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شدند (۶). در انتها مقادیر AUC در آموزش و هم‌چنین در آزمونمدل با هم مقایسه شدند.

نتایج

-مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون افزایشی تعمیمی (GAM)

مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون افزایشی تعمیمی نشان داد که پارامترهای آهک، پتاسیم، سیلت و ارتفاع بیشترین تأثیر را بر پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* دارند. خلاصه نتایج آنالیز پارامترهای محیطی بر پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* در روش GAM در جدول (۱) آورده شده است.

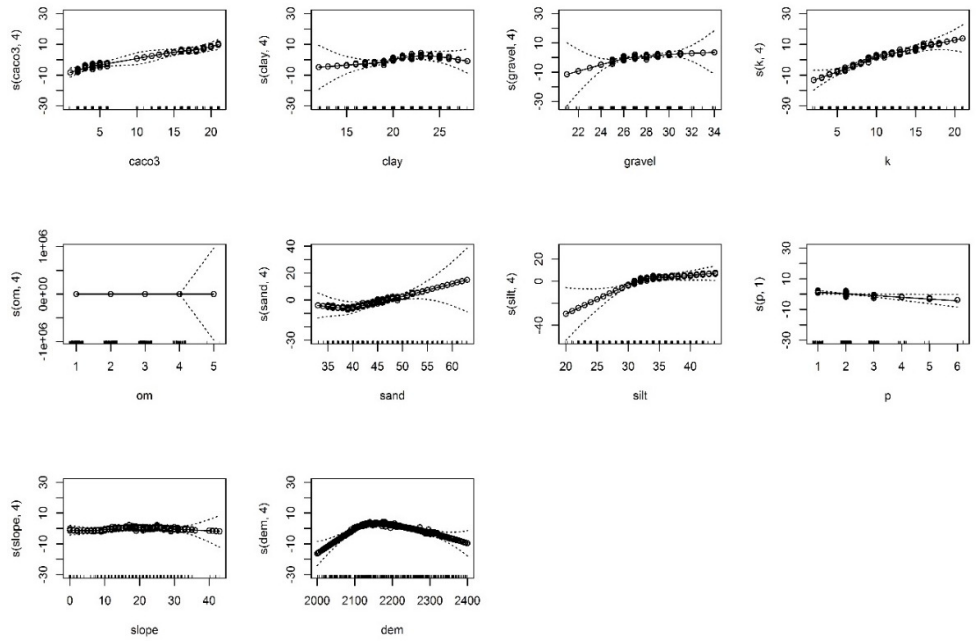
جدول ۱: نتایج تجزیه رگرسیون GAM برای بررسی عوامل موثر بر پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus*

متغیر	درجه آزادی	میانگین مربعات
آهک	۱	۴۰/۹۴**
شن	۱	۰/۰۲
سنگریزه	۱	۰/۲۸
پتاسیم	۱	۹۲/۹۹**
ماده آلی	۱	۰/۴۹*
رس	۱	۰/۰۱
سیلت	۱	۷/۱۹**
فسفر	۱	۰/۸۶
شیب	۱	۰/۰۳
ارتفاع	۱	۲/۱۴**

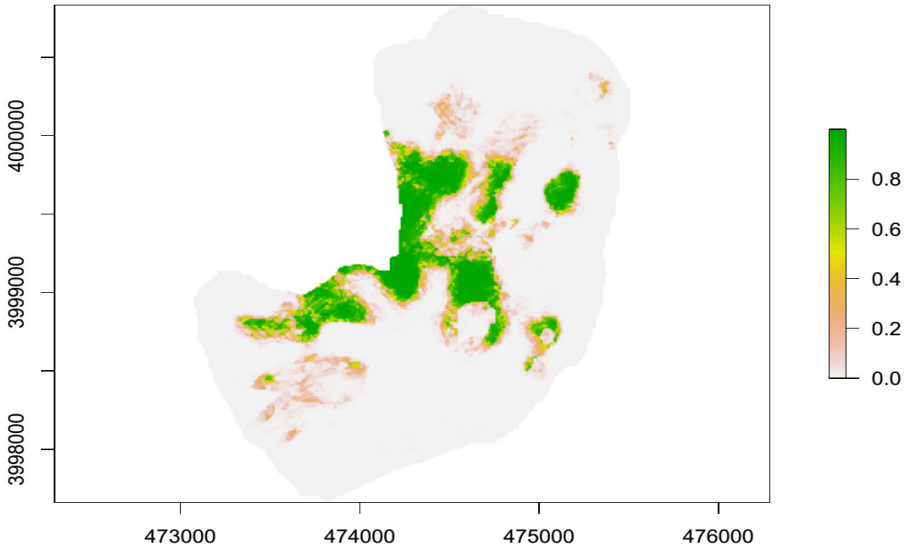
پاسخ رویشگاه *T. kotschyanus* در برابر متغیرهای محیطی در مدل GAM در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به شکل با افزایش میزان آهک، سیلت، شن و پتاسیم حضور این گونه گیاهی افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین منحنی پاسخ رویشگاه *T. kotschyanus* در برابر ارتفاع از سطح دریا و رس به‌صورت گوسی بود؛ یعنی در ابتدا با افزایش ارتفاع، میزان حضور گونه افزایش و سپس با افزایش بیشتر ارتفاع از سطح دریا (تقریباً ۲۲۰۰ متر)، حضور گونه کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار فسفر، فراوانی حضور گونه کاهش پیدا می‌کند. نقشه پیش‌بینی رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از رگرسیون GAM در شکل (۲) نشان داده شده است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]



شکل ۱: روند تغییر متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از رگرسیون GAM



شکل ۲: نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از روش رگرسیون GAM

مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون درختی تقویت شده (*BRT*)

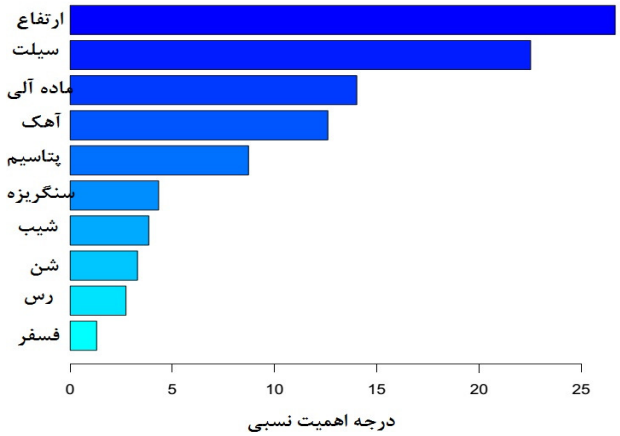
نتایج مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون درختی تقویت شده نشان داد که پارامترهای ارتفاع از سطح دریا، سیلت، ماده آلی و آهک بیشترین اهمیت را در پراکنش و حضور رویشگاه *T. kotschyanus* دارند. جدول (۲) و شکل (۳) خلاصه نتایج مدل BRT را نشان می‌دهند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]

جدول ۲: درجه اهمیت پارامترهای مورد بررسی بر پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از رگرسیون BRT

ردیف	پارامتر	درجه اهمیت
۱	ارتفاع	۲۶/۶۵
۲	سیلت	۲۳/۵۲
۳	ماده آلی	۱۴/۰۱
۴	آهک	۱۱/۶۰
۵	پتاسیم	۸/۷۲
۶	سنگریزه	۳/۸۵
۷	شیب	۴/۳۲
۸	رس	۲/۷۳
۹	شن	۳/۲۹
۱۰	فسفر	۱/۳۰



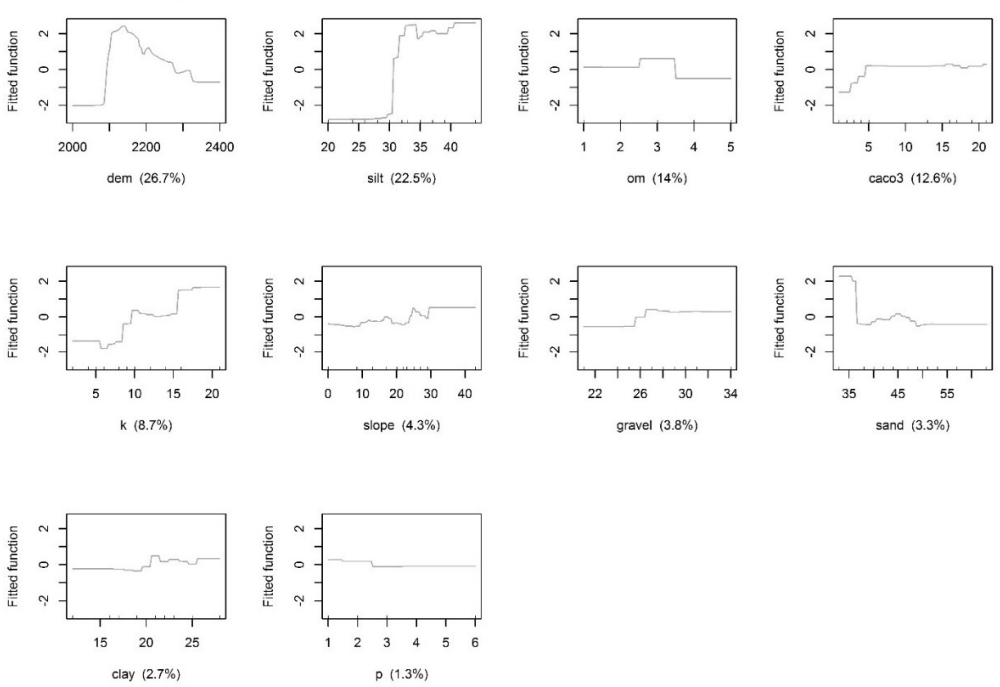
شکل ۳: درجه اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در پیش‌بینی رویشگاه *T. kotschyanus* در روش BRT

شکل (۴) نشان می‌دهد که با تغییر پارامترهای محیطی فراوانی حضور رویشگاه *T. kotschyanus* چه تغییری می‌کند. با افزایش سیلت، پتاسیم و آهک حضور گونه افزایش یافته و با افزایش شن، ماده آلی و فسفر حضور گونه *T. kotschyanus* کاهش می‌یابد. پاسخ گونه *T. kotschyanus* به ارتفاع از سطح دریا در روش BRT نیز به‌صورت گوسی می‌باشد.

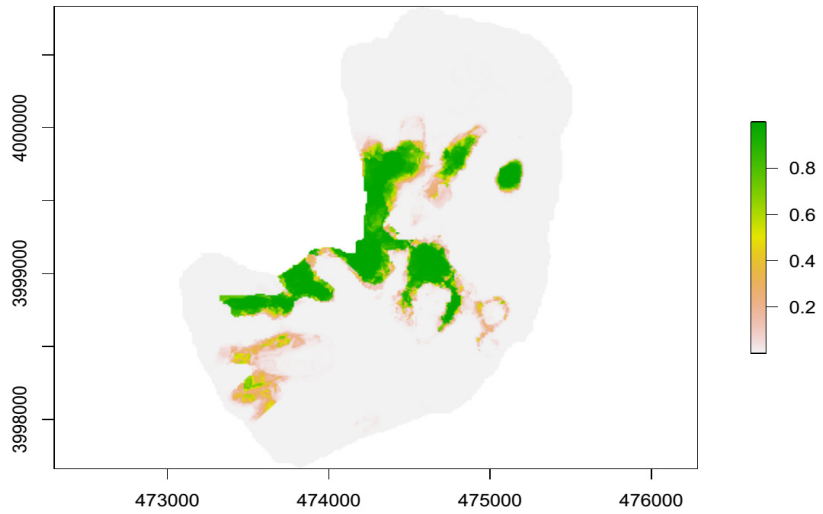
نقشه پیش‌بینی رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از روش BRT در شکل (۵) نشان داده شده است. در جدول (۳) ارزیابی مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی رویشگاه *T. kotschyanus* آورده شده است. با توجه به نتایج این جدول هر دو مدل BRT و GAM با دقت بالایی برازش داده شده‌اند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]



شکل ۴: درجه اهمیت و روند پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* در ارتباط با متغیرهای محیطی



شکل ۵: نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از روش رگرسیون BRT

جدول ۳: خلاصه نتایج مدل‌های رگرسیونی به‌کار رفته در مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه *T. kotschyanus*

مدل	AUC آموزش مدل	AUC آزمون مدل
GAM	۱	۰/۹۹۵
BRT	۱	۰/۹۹۶

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پیش‌بینی رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از روش GAM نشان داد که پارامترهای آهک، پتاسیم، سیلت و ارتفاع از سطح دریا بیشترین تأثیر را بر پراکنش رویشگاه این گونه دارد. هم‌چنین منحنی رویشگاه *T. kotschyanus* در برابر ارتفاع از سطح دریا و رس به‌صورت گوسی است؛ یعنی در ابتدا با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان حضور گونه افزایش و سپس با افزایش بیشتر ازتفاع (تقریباً ۲۲۰۰ متر) حضور گونه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از پیش‌بینی رویشگاه *T. kotschyanus* با استفاده از روش BRT نشان داد که متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، سیلت، ماده آلی و آهک بیشترین ضریب تأثیر بر پراکنش رویشگاه این گونه دارد. رابطه حضور رویشگاه*T. kotschyanus* با ارتفاع از سطح دریا به صورت گوسی می‌باشد؛ بدین ترتیب که در ابتدا با افزایش ارتفاع از سطح دریا، حضور افزایش می‌یابد و سپس با افزایش ارتفاع حضور گونه کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان حضور رویشگاه *T. kotschyanus* افزایش یافته و از ارتفاع ۲۲۰۰ متر به بالاتر میزان حضور رویشگاه این گونه کاهش می‌یابد؛ یعنی رابطه به صورت گوسی می‌باشد. در تفسیر نتایج بدست آمده بایستی بیان کرد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا تا ۲۲۰۰ متر، حضور گونه افزایش می‌یابد، اما از ارتفاع ۲۲۰۰ تا ۲۴۰۰ متر حضور گونه کاهش می‌یابد. شاید تنوع خاک، کاهش پتاسیم و آهک موجود در ارتفاعات بالاتر باعث کاهش حضور این گونه شده باشد. محققان بسیاری بیان کردند که بیشترین دامنه پراکنش رویشگاه این گونه در دامنه ارتفاعی ۱۶۵۰-۲۰۰۰ و ۱۶۰۰-۲۰۰۰ می‌باشد (۱۲ و ۱۳). جعفریان و کارگر (۲۰۱۷) نتایج مشابهی با این تحقیق در رابطه با اثر ارتفاع از سطح دریا را بر پراکنش این گونه گزارش کردند.

میزان آهک از دیگر عواملی بود که در منطقهٔ مورد بررسی بر پراکنش رویشگاه گونه *T. kotschyanus* مؤثر بود. آهک از نمک‌هایی می‌باشد که دارای حلالیت کم در آب است و در صورتی‌که به‌صورت محلول درآید، تولید یک قلیای قوی می‌کند و رشد گیاهانی را که به pH اسیدی نیاز دارند، با محدودیت روبرو می‌کند، از این‌رو آهک بجز برای گیاهان آهک دوست یک عامل بازدارنده رشد است و قابلیت استفاده از عناصر ریزمغذی مانند روی و منگنز را برای گیاهان کاهش می‌دهد (۱۷). البته برخی از گیاهان با میزان زیاد این ماده در خاک سازگار شده و در خاک‌هایی با میزان آهک بالا استقرار پیدا می‌کنند. نتایج نشان داد با افزایش میزان آهک خاک، احتمال حضور رویشگاه این گونه افزایش می‌یابد در تأیید این مطلب زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۵) و زارع چاهوکی و عباسی (۲۰۱۶) بیان کردند که حضور این گونه با افزایش آهک رابطه مستقیم، ولی جعفریان و کارگر (۲۰۱۷) رابطه خطی معکوس را گزارش کردند.

نتایج نشان داد که با افزایش میزان سیلت خاک احتمال حضور گونه *T. kotschyanus* افزایش می‌یابد. بافت خاک به‌دلیل تأثیر در میزان رطوبت و عناصر در دسترس گیاه، ظرفیت نگهداری آب در خاک، چرخه مواد غذایی، تهویه، عمق ریشه‌دوانی گیاه و میزان هرزآبی که پس از بارندگی بر روی سطح خاک جریان می‌یابد، در پراکنش پوشش گیاهی نقش دارد (۲۲ و ۲۳). بافت خاک از عوامل اصلی کنترل پراکنش پوشش گیاهی بوده و تأثیر بافت خاک بر روی آن به دلیل تأثیر در میزان رطوبت خاک است، زیرا اختلاف در میزان رطوبت به تغییراتی در شکل‌دهی و تهویه ساختمان خاک و میزان شوری آن منجر می‌شود (۱ و ۱۰). تفاوت قابل ملاحظه در میزان شن به‌عنوان یکی از عوامل تعیین‌کننده بافت خاک در جوامع گیاهی مختلف در این تحقیق بیانگر این است که گونه‌های مختلف گیاهی بستر رویشی متفاوتی را برای استقرار نیاز دارند. محققان زیادی بیان کردند که گیاهان خانواده آویشن برای استقرار و رشد به خاک‌های سبک نیاز دارند و خاک‌های لوم شنی را می‌پسندد (۴، ۱۲ و ۱۳).

عامل دیگری که در پراکنش رویشگاه *T. kotschyanus* نقش دارد، عنصر پتاسیم می‌باشد. عنصر پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر غذایی ماکرو که از لحاظ اهمیت پس از عناصری چون نیتروژن و فسفر قرار دارد، در خاک‌ها اغلب در ساختمان کانی‌ها وجود دارد که پس از هوادیدگی به‌صورت یون پتاسیم آزاد شده و وارد محلول خاک می‌شود. میزان مصرف پتاسیم در گیاهان پس از نیتروژن بیش از عناصر دیگر است. دلیل اصلی آن هم نقش عنصر پتاسیم در تنظیم فتوسنتز، انتقال کربوهیدرات‌ها،

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]

ساخت پروتئین و غیره است (۱۷). افزون بر این وجود پتاسیم در خاک باعث تسهیل در انتقال آب و مواد غذایی در خاک شده است، از این‌رو پتاسیم می‌تواند به‌عنوان یک ماده حاصل‌خیزکننده خاک به‌شمار آید. پتاسیم همچنین باعث افزایش طول ریشه و در نتیجه افزایش مقاومت گیاهان به خشکی می‌شود.

به‌طور کلی مقایسه دو روش رگرسیونی در مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه مورد مطالعه نشان داد که هر دو روش به‌کار رفته در این تحقیق کارایی بالایی در مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه دارد (با توجه به مقادیر AUC در دو قسمت آموزش و آزمون مدل). در تأیید این مطلب لمک و براون (۲۰۱۲) بیان کردند که روش رگرسیون (GBM) در مقایسه با روش رگرسیون لجستیک کارایی بهتری دارد و بیان کردند که مدل رگرسیون لجستیک برای ارزیابی روابط خطی مناسب‌تر است و برای روابط دو نمایی مناسب نیست و رگرسیون BRT بهترین پیش‌بینی را زمانی که روابط غیرخطی است، دارد. هم‌چنین بیو و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند که در مقایسه روش GLM و GAM، مدل‌سازی پیش‌بینی به روش GAM انعطاف‌پذیری بالاتری دارد و به واقعیت نزدیک‌تر است هم‌چنین جعفریان و کارگر (۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی را ارائه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از چند روش پیش‌بینی به جای استفاده از یک روش، قابل اعتمادتر می‌باشد در این روش می‌توان بهترین روش با توجه به کمترین خطا و بالاترین صحت انتخاب کرد.

مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه‌ها بر اساس ویژگی‌های بوم‌شناسی آنها می‌تواند گامی مثبت در حفاظت و احیاء این گونه‌ها باشد که از نظر دارویی صنعتی، تولید علوفه دام و حفاظت خاک ارزش زیادی دارند. با توجه به اینکه هر گونه گیاهی بر حسب خصوصیات منطقه رویش، نیازهای بوم‌شناختی و دامنه بردباری با برخی از عامل‌های محیطی رابطه دارد، بنابراین نتایج به‌دست آمده در هر منطقه قابل تعمیم به مناطقی با شرایط مشابه است. بر این اساس، از مدل‌های به‌دست آمده می‌توان در معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتع نظیر بذرکاری، بوته‌کاری و تعیین مناطقی با پتانسیل رویش گونه‌های با ارزش دارویی- صنعتی استفاده کرد. همچنین با تکیه به نتایج مدل‌های به‌دست آمده از این تحقیق می‌توان رویشگاه‌های دارای پتانسیل کشت گونه‌های مورد بررسی را شناسایی و برنامه حفاظت و انتقال این گونه‌ها به این مناطق را با هدف ازدیاد در محیط طبیعی سبب‌ساز شد. گونه گیاهی *T. kotschyanus* به‌دلیل دارا بودن برخی از متابولیت‌های دارویی و به‌ویژه اسانس یکی از پرمصرف‌ترین و ارزشمندترین گیاهان داوریی دنیاست (۹)، این گونه گیاهی پایا و بوته‌ای بوده و در مناطق نیمه‌خشک و سرد پراکنش دارد و در مناطق وسیعی از ایران از جمله ارتفاعات مناطق غربی، شمال‌غربی، مرکزی و جنوبی کشور رویش دارد (۲۵). شناسایی پراکنش رویشگاه‌های این گونه می‌تواند کمک مهمی به شناسایی مناطق رویشگاهی آن، حفاظت و احیاء رویشگاه‌های این گونه بکند.

References

1. Ali, M.M., G. Dickinson & K.J. Murphy, 2000. Predictors of plant diversity in a hyperarid desert wadi ecosystem. Journal of Arid Environments, 45:215-230.
2. Austin, M., 2007. Species distribution models and ecological theory; a critical assessment and some possible new approaches. Ecological Modelling, 200(1-2):1-9.
3. Bio, A.M.F., R. Alkemade & A. Barendgret, 1998. Determining alternative models for vegetation Response Analysis: A nonparametric approach. Vegetation Science, 9: 5-16.
4. Darvishi, L., M.A. Zare Chahouki, M. Jafari, H. Azarnivand & M. Yousefi Valikchali, 2013. Study on the Environmental Factors Contributing to Distribution of *Thymus kotschyanus* in Taleghan Basin, Iran. Journal of Rangeland Science, 4(1): 82-90.
5. Duan, R-Y., X.Q. Kong, M.Y. Huang, W.Y. Fan & Z.G. Wang, 2014. The Predictive Performance and Stability of Six Species Distribution Models. PLoS ONE, 9(11): 1-8.
6. Dubuis, A., J. Pottier, R. Vanessa, L. Pellisier, J.P. Theurillat & A. Guisan, 2011. Predicting spatial patterns of plant species richness: a comparison of direct macroecological and species stacking modelling approaches. Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.), 17: 1122–1131.
7. Edenius, L. & G. Mikusinski, 2006. Utility of habitat suitability models as biodiversity assessment tools in forest management. Scandinavian Journal of Forest Research, 21: 62–72.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]

8. Elith, J., C.H. Graham & R.P. Anderson, 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, 29: 129-151
9. Essawi, T. & M. Srour, 2000. Screening of some Palestinian medicinal plants for antibacterial activity. Journal of Ethnopharmacology, 70(3): 343-349.
10. Friedel, M.H., G. Pickup & D.J. Nelson, 1993. The interpretation of vegetation change in a spatially and temporally diverse arid Australian landscape. Journal of Arid Environments, 24:241-260.
11. Guisan, A. & N.E. Zimmerman, 2000. Predictive habite distribution models in Ecology. Ecological Modeling, 135: 147-186.
12. Hasani Pak, A.A. 1998. Geostatistical. Tehran University Press, Tehran, 180p.
13. Hasani, J. & Z. Nikbaher, 2013. Ecological requirements of *Thymus* species in different habitats of Kurdistan province. Eco-phytochemical Journal of Medical Plants, 1(3): 23-34. (In Persian)
14. Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International of Journal of Climatology, 25: 1965–1978.
15. Jafarian, Z. & M. Karegar, 2017. Distribution Modeling of Protective and Valuable Plant Species in the Tourist Area of Polour Using Generalized Linear Model (GLM) and Generalized Additive Model (GAM). Geography and Development Iranian Journal, 15(46): 117-132. (In Persian)
16. Lemke, D. & J.A. Brown, 2012. Habitat Modeling of Alien Plant Species at Varying Levels of Occupancy. Forests, 3(3): 799-817.
17. Mahmoudi, S. & M. Hakimian, 2007. Principles of the soil science. University of Tehran Press, 700p. (In Persian)
18. Mesdaghi, M., 2007. Range Management in Iran Imam Reza University Press, Mashhad, 333 p. (In Persian)
19. Moghadam, M., 2009. Range and Range Management. University of Tehran Press. 470 p. (In Persian)
20. Mohajer, M.R. & K. Sefidi, 2012. Forest Ecology. The publication of Jahad Daneshgahi, 397p. (In Persian)
21. O'Donnell, M.S. & D.A. Ignizio, 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States: U.S. Geological Survey Data Series, 691, 10 p.
22. Piry Sahragard, H., H. Azarnivand, M.A. Zare Chahouki, H. Arzani & S. Qumi, 2011. Study of Effective Environmental Factors on Distribution of Plant Communities in Middle Taleghan Basin. Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 64(1): 1-12. (In Persian).
23. Piry Sahragard, H., M.A., Zare Chahouki & H. Azarnivand, 2016. Developing predictive distribution map of plant species habitats using logistic regression (Case study: Khalajestan rangelands of Qum province). Rangeland, 9(3): 222-234. (In Persian).
24. Piry Sahragard, H., M.A. Zare Chahouki & H. Azarnivand, 2014. Modeling the distribution of plant species of West Hoze soltan rangelands of Qom province by logistic regression. Journal of Range Management System, 1(1): 94-113. (In Persian)
25. Rechinger, K.H., 1982. Flora Iranika vol. 152: Akademische Ddruck and Varagsanstalt.
26. Sahragard, H.P. & M.A. Zare Chahouki, 2015. An evaluation of predictive habitat models performance of plant species in Hoze soltan rangelands of Qom province. Ecological Modelling, 309–310: 64–71.
27. Zaniewski, A.E., A. Lehmann, M. Jacob & C. Overton, 2002. Predicting species spatial distribution using Present-only Data: a case stady of Native New 261-280. Zealand Ferns, Ecological, 157pp.
28. Zare Chahouki, M.A., 2006. Modeling of Distribution of Plant Species in Arid and Semi-Arid Rangeland (Case Study: Poshtkouh Rangeland of Yazd Province), Ph.D. Thesis of Natural Recourses Faculty of Tehran University. 180p. (In Persian).
29. Zare Chahouki, M.A., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2014. Spatial distribution modeling for *Agropyron intermedium* and *Stipa barbata* species habitat using binary logistic regression (case study: rangeland of Taleghan miany). Journal of Plant Ecosystem and Conservation, 2(4): 47-60. (In Persian).
30. Zare Chahouki, M.A., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2014. Evaluating the ability of artificial neural network model in predicting the spatial distribution of plant species (case study: rangeland of Taleghan miany). Rangeland, 8(2): 106-115. (In Persian).
31. Zare Chahouki, M., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2015. Evaluating the logistic regression model mapping the spatial distribution of plant species in rangelands Taleghan. Rangeland, 9(4): 320-332. (In Persian)
32. Zare Chahouki, M.A. & M. Abbasi, 2016. Habitat suitability modeling for *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. using ecological-niche factor analysis (case study: rangeland of middle Taleghan). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32(4): 561-573. (In Persian)
33. Zare Chahouki, M.A. & A. Zare Chahoki, 2010. Predicting the distribution of plant species using logistic regression (Case study: Garizat rangelands of Yazd province). DESERT, 15: 151-158.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.1.1.6]