

مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20080891.1400.15.2.3.0

مدل سازی رویشگاه بالقوه گونه *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. در مراتع نیمه شمالی استان

اردبیل

سحر غفاری^۱، اردوان قربانی^{۲*}، مهدی معمری^۳، رئوف مصطفی زاده^۴ و محمود بیدار لرد^۵ و آزاد کاکه ممی^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۰۹/۰۸

چکیده

پژوهش حاضر با هدف مقایسه کارایی روش‌های انتروپی حداکثر و رگرسیون لجستیک در مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه *Thymus kotschyanus* و تعیین عوامل مؤثر بر حضور گونه در مراتع نیمه شمالی استان اردبیل انجام شد. ۲۸ سایت انتخاب و در هر سایت ۳ ترانسکت و در طول هر ترانسکت ۱۰۰ متری ۱۰ پلات یک مترمربعی برای نمونه‌برداری استفاده شد. برای نمونه‌برداری از خاک هر سایت، ۹ پروفیل حفر و از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. اطلاعات مربوط به خصوصیات خاک با استفاده از روش زمین‌آمار، اطلاعات توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاع، اطلاعات اقلیمی با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه و سنج‌های سیمای سرزمین به کمک نقشه کاربری تهیه شد. نقش عوامل محیطی در پراکنش گونه در روش انتروپی حداکثر با استفاده از روش جک‌نایف و منحنی پاسخ بررسی شد. برای ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک از آزمون نیکویی برازش هوسمر-لشاو و سطح زیر منحنی ROC استفاده شد. سپس نقشه‌های پیش‌بینی رویشگاه گونه براساس روش‌های انتروپی حداکثر و رگرسیون لجستیک ترسیم و شاخص کاپا برای ارزیابی میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی با نقشه واقعی مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس مدل رگرسیون لجستیک، پتاسیم عمق دوم و شاخص تجمع با همبستگی منفی و شیب و خاک لخت با همبستگی مثبت و براساس روش انتروپی حداکثر، متغیرهای رس عمق اول، تغییرات ضریب اندازه لکه و شیب شیب موثرترین عوامل در حضور گونه در منطقه هستند. گونه *T. kotschyanus* خاک‌هایی با بافت سبک (رس کمتر از ۱۵ درصد)، پتاسیم (کمتر از ۱۸ میلی‌اکی‌والان در لیتر)، سیلت (کمتر از ۲۰ درصد)، مناطق مرتفع (۹۰۰ تا ۲۷۰۰ متر) و شیب (۳۵ تا ۵۵ درصد) را ترجیح می‌دهد. بر اساس مقادیر ضریب کاپای محاسبه شده، مدل رگرسیون لجستیک پراکنش رویشگاه گونه مورد مطالعه را در سطح خوب (۰/۶۴) و روش انتروپی حداکثر در سطح متوسط (۰/۴۲) برآورد کرده است. نتایج نشان می‌دهد که روش رگرسیون لجستیک در برآورد دامنه پراکنش گونه از صحت بیشتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، مطلوبیت زیستگاه، فاکتورهای محیطی، رگرسیون لجستیک، انتروپی حداکثر.

^۱ - دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۲ - استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
* نویسنده مسئول: a_ghorbani@uma.ac.ir

^۳ - دانشیار گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۴ - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۵ - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران.

^۶ - دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

مقدمه

مشخص کردن محدوده پراکنش گونه‌ها، شناخت پارامترهای رویشگاهی که توسط یک گونه در منطقه انتخاب می‌شود و تعیین رویشگاه مناسب از مهمترین فعالیت‌ها در بوم‌شناسی حفاظت محسوب می‌شود (۳۵). از مدل‌سازی رویشگاه می‌توان برای اهداف متفاوتی از جمله تعیین مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها و ارتباط آن‌ها با متغیرهای محیطی (۳ و ۵۲)، پیش‌بینی روند گسترش گونه‌ها در سطح یک منطقه (۱۷) و همچنین پیش‌بینی مناطق پرخطر در معرض تهاجم گونه‌های مهاجم و سمی (۳۷)، و ارزیابی اثرات تصمیمات مدیریتی و یا مخاطرات محیط‌زیستی سود برد (۵۰ و ۵۱).

گونه *Thymus kotschyanus* (آویشن) جزء گونه‌های اصلی مراتع استان اردبیل می‌باشد که هم به‌صورت گونه غالب و هم گونه همراه در این مراتع دیده می‌شود که از لحاظ اکولوژی گونه‌ای با ارزش است و در مناطق مختلف می‌تواند عملکرد اکوسیستم را به نمایش بگذارد. با توجه به اهمیت و ارزش این گونه در تولید، حفاظت خاک (خصوصاً در مناطق شیب‌دار) و مصارف دارویی و از آنجایی که مدیریت و بهره‌برداری درست از مراتع، نیازمند تعیین عوامل موثر بر پراکنش گونه‌های اصلی می‌باشد؛ لازم است که شناخت کاملی نسبت به رویشگاه‌های بهینه این گونه با استفاده از روش‌های نوین و کارآمد داشت (۱۵).

مدل‌های پراکنش گونه‌ای^۱ الگوریتم‌های تحلیلی و یا آماری هستند که می‌توانند پراکنش واقعی یا بالقوه گونه را با ارتباط دادن مشاهدات میدانی و لایه‌های متغیرهای محیطی پیش‌بینی کنند. مدل‌های پراکنش گونه‌ای به دو گروه تقسیم می‌شوند، گروهی که به داده‌های حضور و عدم حضور گونه نیاز دارند و گروهی که تنها به داده‌های حضور برای مدل‌سازی نیاز دارند (۳۵).

مدل رگرسیون لجستیک از جمله مدل‌های متمایزکننده گروهی می‌باشد که نیازمند داده‌های حضور و عدم حضور گونه هستند و بر مبنای همبستگی تولید می‌شوند. از مزیت‌های مدل رگرسیون لجستیک نسبت به مدل‌های پارامتریک این است که نیازی به نرمال بودن

داده‌ها نبوده و قادر است ارتباط بین متغیر پاسخ و متغیرهای پیش‌بینی کننده را بدون هیچ پیش فرضی (خطی بودن، گوسی بودن و ...) استخراج نماید (۲۸، ۳۸ و ۴۹).

دستیابی به داده‌های عدم حضور صحیح نیازمند پایش مداوم زیستگاه، ثبت نقاط حضور و عدم حضور گونه در سالیان متمادی و دستیابی به اطلاعات کافی در مورد بوم‌شناسی گونه است (۲۸). از آنجاییکه اطلاعات قابل اعتماد در خصوص عدم حضور توسط مشاهده‌گر به دلایل متعددی نظیر دقت مشاهده‌گر، تجهیزات مورد استفاده و نظیر آن، سبب می‌گردد تا آن نقطه به‌عنوان نقطه عدم حضور ثبت گردد (۴۰). این عمل می‌تواند نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها را با خطای بالایی همراه سازد (۲۴). بنابراین استفاده از مدل‌هایی که تنها نیازمند داده‌های حضور هستند، می‌توانند از خطاهای حاصل از به‌کارگیری داده‌های عدم حضور اشتباه جلوگیری کنند (۴۲). روش انتروپی حداکثر^۲ به دلیل اینکه فقط از داده‌های حضور برای مدل‌سازی استفاده می‌کند، بسیاری از پیچیدگی‌های مربوط به روش‌هایی که از داده‌های حضور و عدم حضور استفاده می‌کنند را ندارد (۳۳). یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی روش انتروپی حداکثر این است که سهم نسبی هر یک از متغیرها و درصد مشارکت آن متغیر در کل مدل پیش‌بینی مشخص می‌شود (۹ و ۳۴). هم‌چنین بهره‌گیری از منحنی‌های پاسخ در این روش، اطلاعات زیادی راجع به دامنه عوامل محیطی مربوط به هر یک از گونه‌های گیاهی فراهم خواهد آورد که این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مرتبط با پوشش گیاهی، انتخاب متغیرهای مناسب برای انجام مطالعات مرتبط با پوشش گیاهی، انتخاب گونه‌های اصلاحی سازگار برای انجام فعالیت اصلاحی در مناطق مختلف و پیشنهاد مناطق با تناسب بالا برای استقرار دوباره پوشش گیاهی مفید باشد (۴۳ و ۵۱). یکی از مسائل مهم در مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی این است که پتانسیل مدل‌سازی روش‌های مختلف با یکدیگر متفاوت بوده و روش‌های مختلف قابلیت‌های متفاوتی دارند. نکته مهم دیگر در استفاده از این روش‌ها این است که همبستگی معنی‌دار منفی بین درجه

² - Maximum Entropy¹ - Species Distribution Models

مورد استفاده در مدل سازی پراکنش گونه ای متفاوت است؛ (ب) مطلوبیت بخش های مختلف مراتع نیمه شمالی استان اردبیل به عنوان زیستگاه *T. kotschyanus* متفاوت است؛ ج) یک یا چند عامل محیطی بیشترین تأثیر را در پراکنش گونه *T. kotschyanus* دارند و با شناخت این عوامل و با استفاده از روش های مدل سازی می توان مدل و نقشه پیش بینی پراکنش گونه را تهیه کرد.

مواد و روش

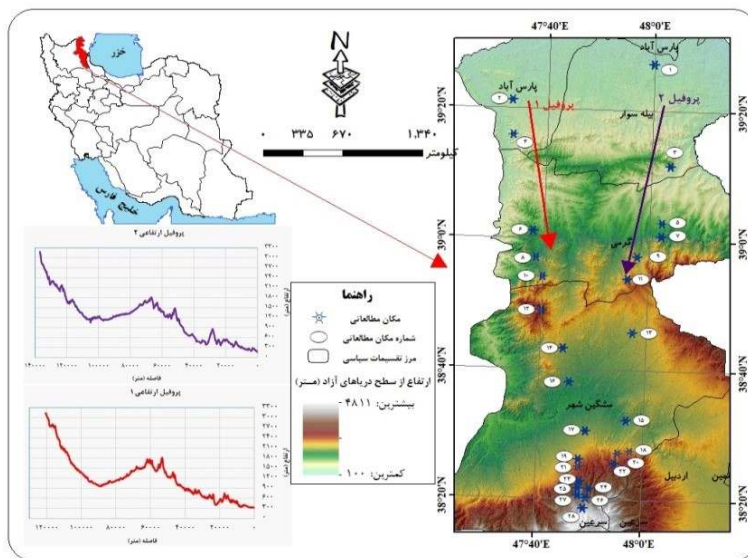
منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی با حدود جغرافیایی $45^{\circ} 47'$ تا $48^{\circ} 23'$ طول شرقی و $38^{\circ} 18'$ تا $39^{\circ} 27'$ عرض شمالی در بخش شمالی استان اردبیل قرار گرفته است. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود $617356/57$ هکتار است (شکل ۱). با توجه به مشاهدات میدانی، بازه ارتفاعی 300 متر، ارتفاع مناسب برای مقایسه تغییرات پوشش گیاهی شناخته شد، اما در بازه ارتفاعی کمتر از 300 متر، ارتفاع تأثیر کمی در تغییر گیاهان داشت. با استفاده از اطلاعات فوق در امتداد گردادیان ارتفاعی مغان-سبلان بین 100 تا 3300 متر ارتفاع از سطح دریا (ارتفاع کمتر از 100 متر، عمدتاً زمین های کشاورزی، مناطق مسکونی و صنعتی و فقدان مراتع طبیعی هستند و مراتع در ارتفاع بیش از 3300 متر، فاقد جاده دسترسی بودند) نمونه برداری با فواصل ارتفاعی 300 متر از سطح دریا انتخاب شد. منطقه مورد مطالعه دارای تابستان خشک و زمستان های سرد است؛ برای سه تا چهار ماه از سال، با برف و یخ پوشانده می شود؛ در اواسط اردیبهشت تا اواسط شهریورماه، فصل خشک است. در ارتفاعات پایین، آب و هوا نیمه خشک است؛ و در ارتفاعات بالا، سرد و نیمه خشک است (۱۲). خصوصیات توصیفی مربوط به سایت های مطالعاتی در قالب جدول (۱) ارائه شده است. وضعیت گونه آویشن در هر سایت براساس شاخص اهمیت گونه^۱ که براساس مجموع تراکم نسبی، فراوانی نسبی و درصد پوشش نسبی محاسبه شد (۶).

عدم قطعیت و صحت در روش های مدل سازی وجود دارد (۸)، بنابراین می توان بیان کرد که انجام مدل سازی با روش های مختلف امکان کمی کردن عدم قطعیت یا خطای ناشی از روش های مختلف را فراهم می آورد. همچنین می توان مفروضات و رفتار هر مدل را درک کرد و با شناخت بهتر از قابلیت ها و کمبودهای هر مدل، خروجی های مدل را به دقت مورد تفسیر قرار داد (۳۰). از سوی دیگر ساخت مدل های پیش بینی واضح برای مکان های مختلف به منظور مشخص کردن پاسخ دقیق گونه ها به شرایط محیطی در آن مکان، پیش بینی احتمال حضور گونه ها و ارزیابی عدم قطعیت در نتایج مدل سازی ضروری است (۲۳). دو راه برای کاهش خطا و انتخاب روش مطلوب مدل سازی پراکنش گونه های مرتعی وجود دارد: الف) به دست آوردن درک کامل از مدل ها از طریق مقایسه آن ها با یکدیگر؛ ب) پی بردن به اینکه به طور کلی کدام یک از روش ها و در چه شرایطی بهترین پیش بینی را انجام خواهد داد (۸).

علیرغم وجود این واقعیت ها، مطالعات محدودی به منظور مقایسه روش های مختلف مدل سازی و مشخص کردن ظرفیت پیش بینی هر یک از روش ها در مقایسه با روش های دیگر برای انتخاب بهترین روش مدل سازی انجام شده است. روشن است که مقایسه روش های مدل سازی مختلف که منجر به انتخاب روش های با کارایی بیشتر می شود، می تواند منجر به نتایج با صحت بیشتر و قابل اعتمادتر شود و پایه ای قوی برای تصمیم سازی های مدیریتی فراهم آورد و از طرف دیگر موجب صرفه جویی در هزینه و زمان انجام پژوهش های بعدی شود. با توجه به اهمیت مسائل ذکر شده لازم است تحقیقاتی به منظور ارزیابی عملکرد روش های مختلف مورد استفاده در مدل سازی پیش بینی پراکنش گونه های گیاهی با توجه به معیارهای مناسب صورت گیرد تا بتوان با بالاترین صحت ممکن، مناطقی را که دارای بیشترین تناسب برای استقرار گونه های مختلف هستند را شناسایی کرد. با توجه به نکات ذکر شده اهداف اجرای طرح و فرضیه های این تحقیق به صورت زیر مطرح می شود: الف) کارایی روش های مختلف مدل سازی

^۱ - Importance value index: IVI



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان اردبیل

جدول ۱: موقعیت و خصوصیت مکان‌های مطالعاتی در طول گرادیان ارتفاعی مغان- سبلان

ارتفاع	شماره سایت روی شکل (۱)	مختصات جغرافیایی (درجه و دقیقه)	گونه‌های غالب	ارتفاع (متر)	کد گرادین	کد مکان	نوع گیاه
۳۰۰-۱۰۰	۱	$39^{\circ} 01' 07''$ $48^{\circ} 27' 20''$	<i>Lolium perenne</i> - <i>Medicago minima</i>	۳	۲۷۰	۱۴	سیلت-رسی-لومی
۳۰۰-۱۰۰	۲	$39^{\circ} 34' 27''$ $48^{\circ} 21' 19''$	<i>Trigonella monspeliaca</i> - <i>Erodium deserti</i>	۳	۲۷۴	۱۴	سیلت-رسی-لومی
۶۰۰-۳۰۰	۳	$39^{\circ} 04' 53''$ $48^{\circ} 11' 38''$	<i>Artemisia austriaca</i> - <i>Trifolium subterraneum</i>	۲۲	۲۷۹	۱۳	رسی-لومی
۶۰۰-۳۰۰	۴	$39^{\circ} 34' 50''$ $48^{\circ} 16' 02''$	<i>Avena eriantha</i> - <i>Artemisia austriaca</i>	۲۲	۲۸۲	۱۳	رسی-لومی
۹۰۰-۶۰۰	۵	$39^{\circ} 03' 31''$ $48^{\circ} 03' 51''$	<i>Trifolium subterraneum</i>	۳۱	۲۹۸	۱۲	رسی
۹۰۰-۶۰۰	۶	$39^{\circ} 39' 14''$ $48^{\circ} 01' 17''$	<i>Trachynia distachya</i>	۱۲	۳۰۰	۱۲	رسی-لومی
۱۲۰۰-۹۰۰	۷	$39^{\circ} 03' 28''$ $48^{\circ} 00' 48''$	<i>Medicago minima</i> - <i>Poa bulbosa</i> - <i>Trifolium resupinatum</i>	۳۸	۳۱۱	۱۱	شنی-رسی-لومی
۱۲۰۰-۹۰۰	۸	$39^{\circ} 39' 59''$ $48^{\circ} 57' 11''$	<i>Bromus arvensis</i> - <i>Thymus kotschyanus</i>	۳۶	۳۲۱	۱۱	رسی-لومی
۱۵۰۰-۱۲۰۰	۹	$39^{\circ} 59' 04''$ $48^{\circ} 57' 32''$	<i>Astragalus microcephalus</i> - <i>Festuca ovina</i>	۲۱	۳۴۲	۱۰	شنی-لومی
۱۵۰۰-۱۲۰۰	۱۰	$39^{\circ} 41' 17''$ $48^{\circ} 54' 18''$	<i>Astragalus microcephalus</i> - <i>Medicago minima</i>	۹	۳۳۵	۱۰	شنی-لومی
۱۸۰۰-۱۵۰۰	۱۱	$39^{\circ} 57' 23''$ $48^{\circ} 54' 09''$	<i>Artemisia austriaca</i> - <i>Festuca ovina</i>	۱۸	۳۵۹	۱۰	شنی-لومی
۱۸۰۰-۱۵۰۰	۱۲	$39^{\circ} 41' 14''$ $48^{\circ} 49' 05''$	<i>Festuca ovina</i> - <i>Dactylis glomerata</i>	۲۸	۳۴۸	۹	لومی
۱۵۰۰-۱۲۰۰	۱۳	$39^{\circ} 58' 39''$ $48^{\circ} 45' 53''$	<i>Xeranthemum squamosum</i> - <i>Artemisia austriaca</i>	۱	۳۳۷	۱۰	شنی-لومی
۱۵۰۰-۱۲۰۰	۱۴	$39^{\circ} 45' 41''$ $48^{\circ} 43' 16''$	<i>Festuca ovina</i> - <i>Trigonella arcuata</i> - <i>Erodium cicutarium</i>	۳۰	۳۲۸	۱۰	لومی

-	شنی-رسی-لومی	۱۱	۳۲۳	<i>Artemisia austriaca</i>	۲۴	۴۷° ۵۷' ۵۴"	۱۵	۱۲۰۰-۹۰۰
-	رسی-لومی	۱۱	۳۱۶	<i>Artemisia austriaca-Lasiopogon muscoides</i>	۱۲	۴۷° ۴۷' ۰۰"	۱۶	۱۲۰۰-۹۰۰
۱۰/۶۶	شنی-رسی-لومی	۱۰	۳۴۰	<i>Astragalus microcephalus-Trifolium arvense-Acantholimon gilliatii</i>	۳۵	۴۷° ۵۸' ۵۲"	۱۷	۱۵۰۰-۱۲۰۰
-	شنی-لومی	۱۰	۳۲۵	<i>Medicago minima-Aegilops triuncialis-Astragalus vegetus</i>	۱۲	۴۷° ۵۰' ۲۴"	۱۸	۱۵۰۰-۱۲۰۰
۱۴/۶۷	رسی-لومی	۹	۳۵۵	<i>Astragalus microcephalus-Taeniatherum caput-medusae</i>	۱۴	۴۷° ۵۶' ۳۰"	۱۹	۱۸۰۰-۱۵۰۰
-	شنی-لومی	۹	۳۴۶	<i>Taeniatherum caput-medusae-Medicago sativa</i>	۲۰	۴۷° ۴۹' ۱۰"	۲۰	۱۸۰۰-۱۵۰۰
۱۶/۰۴	رسی-لومی	۸	۳۶۶	<i>Astragalus microcephalus-Bromus arvensis-Thymus kotschyanus</i>	۳۴	۴۷° ۵۵' ۵۵"	۲۱	۲۱۰۰-۱۸۰۰
۱/۱۰	لومی-شنی	۸	۳۶۱	<i>Bromus tectorum</i>	۲۰	۴۷° ۴۹' ۰۹"	۲۲	۲۱۰۰-۱۸۰۰
۱۰/۳۲	شنی-لومی	۷	۳۸۵	<i>Festuca akhaniai-Astragalus eriostylus-Poa pratensis</i>	۳۱	۴۷° ۵۱' ۱۹"	۲۳	۲۴۰۰-۲۱۰۰
۱۸/۳۶	شنی-لومی	۷	۳۷۹	<i>Astragalus aureus-Festuca ovina</i>	۳۷	۴۷° ۴۹' ۳۱"	۲۴	۲۴۰۰-۲۱۰۰
۱۱/۸۲	شنی-لومی	۶	۳۹۸	<i>Festuca ovina-Astragalus aureus</i>	۳۹	۴۷° ۴۹' ۱۳"	۲۵	۲۷۰۰-۲۴۰۰
۹/۶۶	شنی-لومی	۶	۳۹۳	<i>Festuca ovina-Trifolium medium</i>	۴۰	۴۷° ۵۰' ۵۱"	۲۶	۲۷۰۰-۲۴۰۰
-	شنی-لومی	۶	۴۰۴	<i>Lolium rigidum-Festuca ovina-Trifolium medium</i>	۳۳	۴۷° ۴۹' ۱۶"	۲۷	۳۰۰۰-۲۷۰۰
-	شنی-لومی	۱۱	۴۲۵	<i>Festuca ovina-Alopecurus vaginatus</i>	۱۹	۴۷° ۵۰' ۲۵"	۲۸	۳۳۰۰-۳۰۰۰

جمع‌آوری اطلاعات پوشش گیاهی و عوامل محیطی

به‌منظور شناخت عوامل محیطی موثر در پراکنش گونه *T. kotschyanus* و ارائه مدل‌های پیش‌بینی پراکنش، عوامل محیطی با استفاده از ابزارهایی مانند مدل رقومی ارتفاع، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، کمی شد. در هر سایت، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی به روش تصادفی-سیستماتیک از طریق پلات‌گذاری در امتداد ۳ ترانسکت ۱۰۰ متری عمود بر شیب غالب منطقه انجام شد. طول ترانسکت‌ها با توجه به شرایط منطقه و فاصله بین ترانسکت‌ها براساس تعداد پلات نمونه و سطح منطقه انتخاب شد. اندازه پلات با توجه به نوع گونه مورد بررسی، محدود بودن سطح رویشگاه و تراکم گونه یک مترمربع تعیین شد. در طول هر ترانسکت ۱۰ پلات، به فاصله ۱۰ متر قرار داده شد که به دلیل کم بودن طول دامنه و شرایط محیطی این فاصله مدنظر قرار گرفت. اندازه نمونه هر واحد نمونه‌برداری با توجه به تغییرات پوشش گیاهی و همچنین مطالعات پیشین (۱۳، ۱۴ و ۱۵) در نقاط مشابه

در استان ۳۰ پلات تعیین شد. از آنجا که ریشه‌ی گیاهان مرتعی بیشترین فعالیتشان در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری است (۵۲) نمونه‌برداری خاک از دو عمق ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری (عمق خاک منطقه و عمق ریشه‌دوانی گیاهان) در پلات‌های اول، پنجم و دهم هر ترانسکت برداشت و با هم مخلوط شد. در مورد نمونه‌برداری از خاک با توجه به سطح واحدهای نمونه‌برداری و شرایط منطقه محل حفر طوری انتخاب شد تا کل محدوده مورد مطالعه را پوشش دهد.

با توجه به اقلیم منطقه و اهمیت عوامل خاکی و تأثیر فعالیت‌های انسانی در این مطالعه ۱۷ عامل خاکی شامل: اسیدیته، هدایت الکتریکی، کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم، ازت، ماده‌آلی، ماده‌آلی ذره‌ای، وزن مخصوص ظاهری، بی‌کربنات، آهک، رس، شن، سیلت، رس قابل انتشار و سدیم؛ ۳ عامل پوشش سطحی خاک، شامل: خاک لخت، سنگ و سنگریزه و لاشبرگ؛ ۲ عامل اقلیمی شامل: میانگین بارندگی سالانه و درجه حرارت سالانه؛ ۳ عامل فیزیوگرافی

شامل: ارتفاع، شیب و جهت و ۷ شاخص سنجه سرزمین شامل: تراکم لبه، متوسط سطح لکه، تغییرات ضریب اندازه لکه، میانگین فاصله تا اثرات انسانی، شاخص تجمع، میانگین شاخص شکل و متوسط شاخص بعد فراکتال مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات اقلیمی با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، اطلاعات فیزیوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع^۱ (DEM) در نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۱۰/۵) تهیه شدند. استخراج سنجه‌های سرزمین با استفاده از نرم‌افزار Fragstats (نسخه ۴) انجام شد. سپس سنجه‌های سیمای سرزمین مؤثر بر خصوصیات پوشش گیاهی به‌عنوان متغیر محیطی در هر طبقه ارتفاعی محاسبه و نقشه‌سازی شد. برای توصیف تغییرات مکانی و تهیه نقشه هر متغیر خاک از روش‌های آمار مکانی استفاده شد. برای بررسی و تشریح ارتباط و ساختار فضایی از تجزیه و تحلیل «تغییرنا یا واریوگرام» در نرم‌افزار GS⁺ استفاده شد. در مرحله بعد آنالیز همبستگی مکانی پارامترهای محیطی با استفاده از مدل‌های مختلف واریوگرام (گوسین، نمایی، کروی و خطی) بررسی گردید و با توجه به مجذور میانگین مربعات خطا، مقادیر اثر قطعه‌ای، دامنه و حد آستانه بهترین مدل واریوگرام برای هر یک از متغیرهای محیطی تعیین شد

(۱۶). بعد از تعیین اجزای تغییرنا برای هر یک از خصوصیات خاک با توجه به ساختار مکانی داده‌ها، خصوصیات واریوگرام و ارزیابی میزان انحراف تخمین‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده به روش اعتبارسنجی متقاطع به‌منظور درون‌یابی خصوصیات خاک روش کریجینگ انتخاب شد (۱۶).

در بررسی روابط پراکنش پوشش گیاهی با عوامل محیطی برای جلوگیری از هم‌خطی و انتخاب مهم‌ترین شاخص‌های محیطی با کمترین همبستگی و هم‌خطی، همبستگی بین عوامل محیطی مورد بررسی قرار گرفت (به علت تعداد زیاد متغیرهای مورد بررسی و عدم امکان ارائه نتایج مربوط به آزمون همبستگی خلاصه نتایج در جدول ۲ به اختصار ذکر شده است) و از بین جفت متغیرهایی که دارای همبستگی بالاتر از ۰/۸ بودند با انجام آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یکی از آن‌ها حذف شد. در غیر اینصورت متغیرهایی که همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد با یکدیگر دارند با یک وزن وارد مدل خواهند شود. آزمون همبستگی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) انجام شد.

جدول ۲: خلاصه نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای محیطی (توپوگرافی، خاک، اقلیم، سنجه‌های سیمای سرزمین و پارامترهای سطحی خاک) برای تعیین متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه

اسیدیت عمق اول	اسیدیت عمق دوم
رس عمق اول	رس عمق دوم
شن عمق اول	رس عمق اول، رس عمق دوم
شن عمق دوم	رس عمق اول، رس عمق دوم، شن عمق اول
ماده‌آلی عمق اول	ماده‌آلی عمق دوم
پتاسیم عمق اول	پتاسیم عمق دوم
ارتفاع	درجه حرارت سالانه
تراکم لبه	شاخص پراکندگی و مجاورت
متوسط سطح لکه	میانگین شاخص شکل
میانگین شاخص شکل	متوسط شاخص بعد فراکتال

در نهایت از ۴۸ متغیر محیطی اولیه، ۲۲ متغیر محیطی در فرآیند مدل‌سازی استفاده شد که در جدول (۳) روش و واحد اندازه‌گیری هر متغیر ذکر شده است.

^۱ - Digital elevation model: DEM

جدول ۳: فهرست متغیرهای استفاده شده در ساخت مدل‌های انتروپی حداکثر و رگرسیون لجستیک

متغیر	خصوصیت	روش اندازه‌گیری	واحد اندازه‌گیری	پیامدهای زیست‌محیطی
سطح پوشش زمین	خاک لخت	برآورد چشمی در سطح (پلات)	درصد (%)	-
اقلیم	متوسط بارندگی سالانه	درون‌یابی داده‌های باران‌سنجی و سینوپتیک	میلی‌متر (mm)	-
خاک	اسیدیته (عمق اول)	PH متر	-	-
	هدایت الکتریکی (عمق اول و دوم)	عصاره گل اشباع	دسی زیمنس بر متر (ds/m)	-
	آهک (عمق اول و دوم)	تیتراسیون	درصد	-
	پتاسیم (عمق دوم)	فلیمتومتری	میلی اکی والان در لیتر	-
	کلسیم (عمق اول)	تیتراسیون	میلی اکی والان در لیتر	-
	رس (عمق اول)	هیدرومتری بایکاس	درصد (%)	-
	رس قابل انتشار (عمق اول و دوم)	هیدرومتری و به‌صورت نسبتی از کل رس خاک	درصد (%)	-
توپوگرافی	ارتفاع از سطح دریا	GPS	متر	-
	شیب	DEM	درصد (%)	-
سنجه سیمای سرزمین	متوسط سطح لکه	نرم‌افزار Fragstats	هکتار	مربوط به تکه‌تکه شدن زیستگاه
	تغییرات ضریب اندازه لکه	نرم‌افزار Fragstats	-	مربوط به تکه‌تکه شدن زیستگاه
	تراکم لبه	نرم‌افزار Fragstats	متر در هکتار	مربوط به اثر متقابل با مناطق هم‌جوار
	فاصله تا اثرات انسانی (زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها و یا هر ساخت و سازی)	نرم‌افزار Fragstats	متر	تأثیر انواع استفاده از زمین‌های مجاور
	شاخص تجمع	نرم‌افزار Fragstats	درصد	تعیین اینکه الگوی مکانی زیستگاه کپه‌ای است و یا تکه‌تکه

مدل انتروپی حداکثر

برای ساخت مدل انتروپی حداکثر، لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی و اطلاعات مربوط به نقاط حضور گونه مورد نیاز است.

روش انتروپی حداکثر تا حدود زیادی به نرمال بودن و یکسان بودن ویژگی‌های لایه‌های رستری ورودی (مختصات، قدرت تفکیک، ...) حساسیت دارد و عدم رعایت این اصل سبب انحراف از محاسبات صحیح و تولید خروجی‌ها، بی‌اعتبار خواهد شد؛ بنابراین، تمامی نقشه‌ها بر اساس یک قالب در نرم‌افزار ArcGIS، یکسان‌سازی شدند و پس از تهیه نقشه مربوط به همه متغیرهای محیطی، لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی برای ورود به نرم‌افزار MAXENT، به فرمت ASCII تبدیل شدند. موقعیت جغرافیایی نقطه حضور گونه که در بازدید میدانی ثبت شده بود، در فایلی با فرمت CSV ذخیره شد. سپس اطلاعات مربوط به حضور گونه و همچنین لایه‌های محیطی وارد

نرم‌افزار MAXENT (نسخه 3.3.3e) شدند. در این روش از ۷۰ درصد نقاط حضور به‌صورت تصادفی برای داده‌های آموزشی و از ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی مدل استفاده شد. همچنین برای نمونه‌برداری تصادفی از روش نمونه‌برداری بدون جایگذاری نمونه‌های برداشت شده^۱ و ده بار تکرار برای هر مدل‌سازی استفاده شد.

به‌دلیل اینکه خروجی مدل انتروپی حداکثر یک نقشه پیوسته است ضروری است که برای تعیین حضور یا عدم‌حضور گونه‌های مورد نظر، حد آستانه بهینه مشخص شود (۳۱). بعد از تعیین آستانه بهینه با استفاده از روش ترکیبی حساسیت و اختصاصیت برابر، نقشه‌های پیوسته پیش‌بینی به نقشه‌های حضور و عدم‌حضور گونه‌ها تبدیل شد. این روش یکی از روش‌های رایج برای تعیین حدود آستانه بهینه است که در آن حساسیت^۲ (کسری از حضورهایی که به‌درستی پیش‌بینی شده است) و اختصاصیت^۳ (کسری از عدم حضورها که به‌درستی

3 - Specificity

1 - Cross Validation

2 - Sensitivity

پیش‌بینی شده است) در حدود آستانه صفر تا یک مورد محاسبه قرار می‌گیرد. برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی از روش جک‌نایف^۱ استفاده شد و تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت کننده^۲ و مساحت زیر منحنی^۳ برای ارزیابی کیفیت کلی مدل مورد استفاده قرار گرفت. AUC با امتیاز ۱ به معنی پیش‌بینی کامل و AUC با امتیاز ۰/۵ به معنی پیش‌بینی تصادفی است. مقدار AUC بین ۰/۵ تا ۰/۷ بیانگر مدل ضعیف، بین ۰/۷ تا ۰/۹ مدل متوسط/منطقی و بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی عالی مدل است (۳۲ و ۴۳).

مدل سازی با روش رگرسیون لجستیک

به‌منظور دست‌یابی به بهترین ترکیب از متغیرهای پیش‌بینی در مدل رگرسیون لجستیک از روش پیشرو^۴ استفاده شد که نوعی روش گام به گام است. در این روش ورود متغیرها به مدل براساس معنی‌داری آماره نسبت به درست‌نمایی و خروج متغیرها از تحلیل براساس احتمال این آماره و با توجه به برآوردهای حداکثر درست‌نمایی جزئی یا تفکیکی انجام می‌شود (۴۴). برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی حاصل از رگرسیون لجستیک از آزمون نیکویی برازش آزمون هوسمر-لماشو^۵ استفاده شد. آماره هوسمر-لماشو برای آزمون تطابق تعداد موارد مشاهده‌ای و پیش‌بینی به‌کار می‌رود و بالا بودن مقادیر آن نشان‌دهنده تطابق بیشتر است. بدین شکل که اگر معنی‌داری آن از ۰/۰۵ بیشتر باشد مدل به‌دست آمده معتبر است و در غیر این صورت مدل معتبر نیست (۲۵ و ۲۹). معیار دیگری که برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود، سطح زیر منحنی ROC است. این سطح بیانگر این است که مدل چه مقدار می‌تواند متغیر وابسته را به‌خوبی پیش‌بینی کند؛ این مقدار مابین ۰/۵ تا ۱ است. رقم ۰/۵ نشان‌دهنده تصادفی بودن مدل، رقم

بالای ۰/۷ بیانگر صحت خوب مدل و سطح بالای ۰/۹ نشان‌دهنده صحت بالای مدل است (۲۲). اگر آماره والد^۶ برای متغیری معنی‌دار باشد (سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ باشد)، آن متغیر در مدل انتخاب می‌شود (۱۰). رابطه رگرسیونی با عوامل محیطی با نرم‌افزار SPSS انجام شد. سپس مدل آماری به‌دست آمده در محیط نرم‌افزار ArcGIS تعریف و نقشه پراکنش بالقوه گونه‌های مورد بررسی تولید گردید. نقشه خروجی حاصل از مدل شامل مقادیر احتمال حضور بین صفر تا یک برای رویشگاه مورد نظر است، که در این پژوهش احتمال حضور ۰/۵-۰ به‌عنوان عدم حضور گونه و ۰/۵-۱ را به‌عنوان حضور گونه در نظر گرفته شد (۱۱) و ۴۹ و نقشه خروجی نهایی براساس این دو طبقه حضور و عدم‌حضور برای هر گونه تعریف شد.

ارزیابی کارایی مدل‌ها و نقشه‌های پیش‌بینی

در این تحقیق برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی حاصل از انتروپی حداکثر از تحلیل سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد و برای رگرسیون لجستیک از آزمون نیکویی برازش مدل هوسمر و لماشو استفاده شد. بعد از تعیین حدود آستانه بهینه و تهیه نقشه‌های پیش‌بینی مرتبط به هر گونه، ارزیابی میزان تطابق نقشه‌های واقعی با نقشه به‌دست آمده از هر مدل از طریق محاسبه ضریب کاپا در نرم‌افزار ArcGIS بررسی شد. ضریب کاپا بیانگر میزان توافق مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده است و مقدار آن از صفر تا یک تغییر می‌کند. هر چه مقدار کاپا به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده توافقی بهتر مدل با دنیای واقعی است و از بهترین و مشهورترین شاخص‌های مورد استفاده به این منظور است (۵). مقادیر شاخص کاپا در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- طبقه‌بندی مقادیر شاخص کاپا

ردیف	مقدار کاپا	توافق بین مقادیر پیش‌بینی و واقعی	ردیف	مقدار کاپا	توافق بین مقادیر پیش‌بینی و واقعی
۱	< ۰/۰۵	عدم توافق	۵	۰/۵۵ - ۰/۷۰	خوب
۲	۰/۰۵ - ۰/۲۰	خیلی ضعیف	۶	۰/۷۰ - ۰/۸۵	خیلی خوب
۳	۰/۲۰ - ۰/۴۰	ضعیف	۷	۰/۸۵ - ۰/۹۹	عالی
۴	۰/۴۰ - ۰/۵۵	متوسط	۸	۰/۹۹ - ۱/۰۰	کامل

۴ - Forward: LR

۵ - Hosmer & Lemeshow test

۶ - Wald

۱ - Jackknife

۲ - Receiver Operating Characteristic curve: ROC

۳ - Area Under the Curve: AUC

نتایج

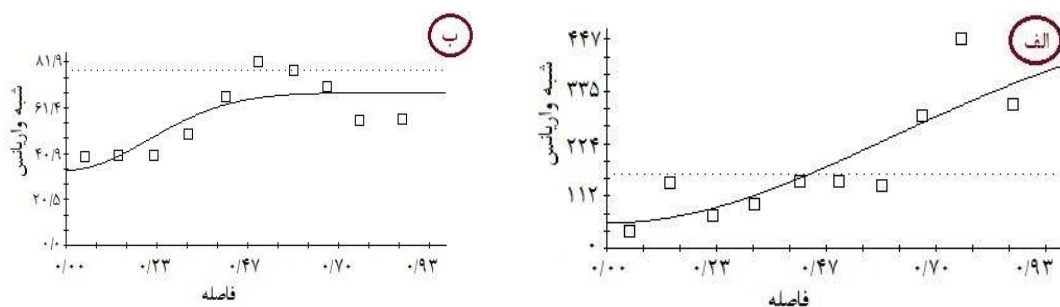
کریجینگ تطابق بیشتری دارند که به عنوان نمونه در جدول (۵) نتایج مربوط به متغیرهای رس و سیلت عمق اول ارائه شده است.

دقت روش درون یابی برای همه متغیرهای خاک با روش تقاطعی بررسی شد؛ نتایج نشان داد که مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده در مورد متغیرهای خاک با روش

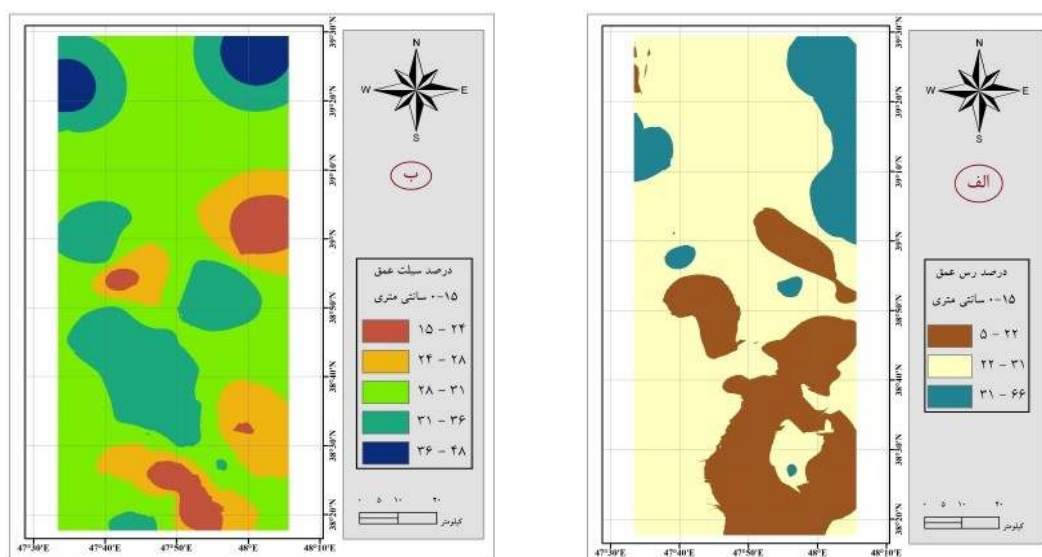
جدول ۵: اجزای مربوط به تغییرنمای (واریوگرام) خصوصیات خاک انتخاب شده برای تولید نقشه

خصوصیت	مدل تغییرنما	اثر قطعه ای (C_0)	آستانه (C_0+C)	فاصله گام (متر)	شعاع تأثیر (متر)	نسبت $C/(C_0+C)$	ضریب همبستگی R^2	مجموع مربعات خطا
رس عمق اول	کروی	-۱۰۰	-۳۵۹۴۰	۱/۹۹	۱/۹۹	۰/۹۹	۰/۶۳	۴/۰۳
سیلت عمق اول	نمایی	۲۵/۳۰	۶۹/۵۷	۰/۲۴	۰/۷۲	۰/۶۳	۰/۵۳	۱۰۶۷

در شکل (۲) مدل تغییرنما و در شکل (۳) نقشه زمین آمار مربوط به متغیر رس و سیلت عمق اول ارائه شده است.

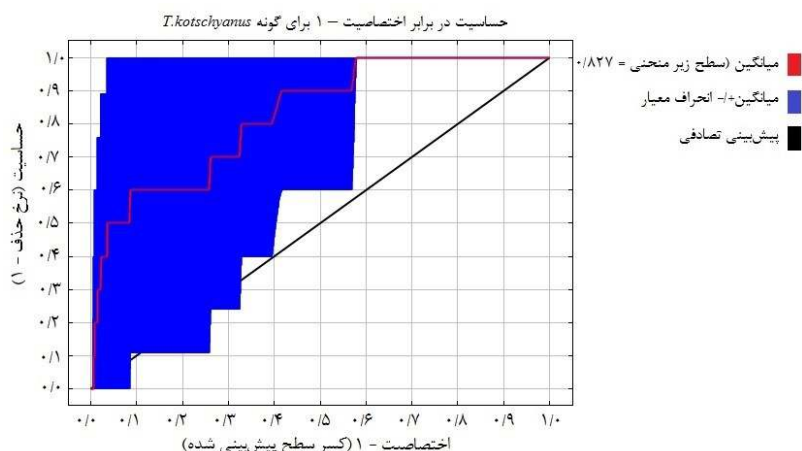


شکل ۲: مدل واریوگرام متغیرهای رس عمق اول (الف) و سیلت عمق اول (ب)



شکل ۳: نقشه زمین آمار متغیرهای رس عمق اول (الف) و سیلت عمق اول (ب)

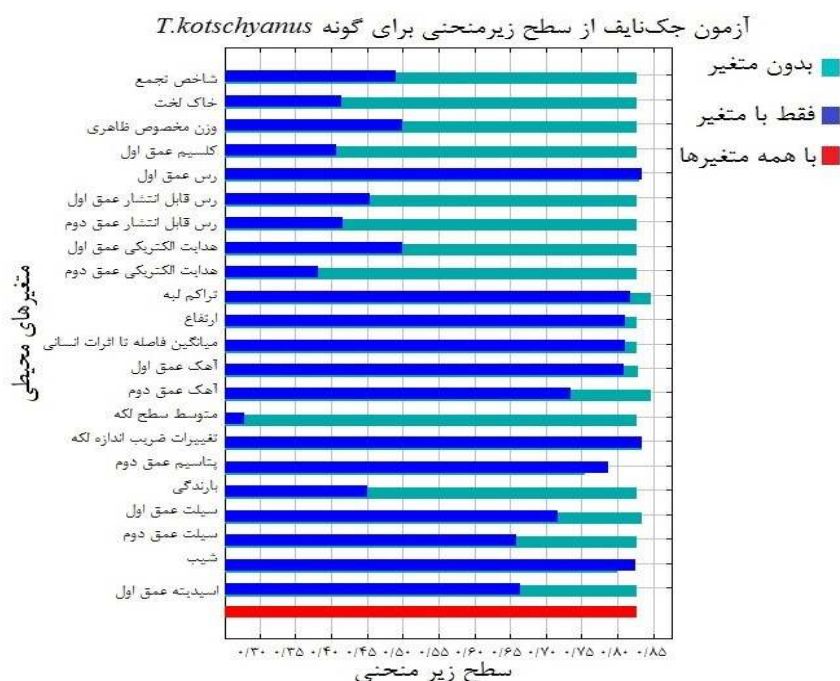
اعتبار سنجی مدل انتروپی حداکثر میزان سطح زیر منحنی ROC برای گونه مورد مطالعه ۰/۸۲ (متوسط/منطقی) است (شکل ۴).



شکل ۴: نمودار سطح زیر منحنی ROC برای اعتبارسنجی مدل مطلوبیت زیستگاه *T. kotschyanus* براساس روش انتروپی حداکثر

پتاسیم بودند و کم‌ترین تأثیر را متغیرهای متوسط سطح لکه، هدایت الکتریکی عمق دوم، کلسیم عمق اول و خاک لخت داشتند (شکل ۵).

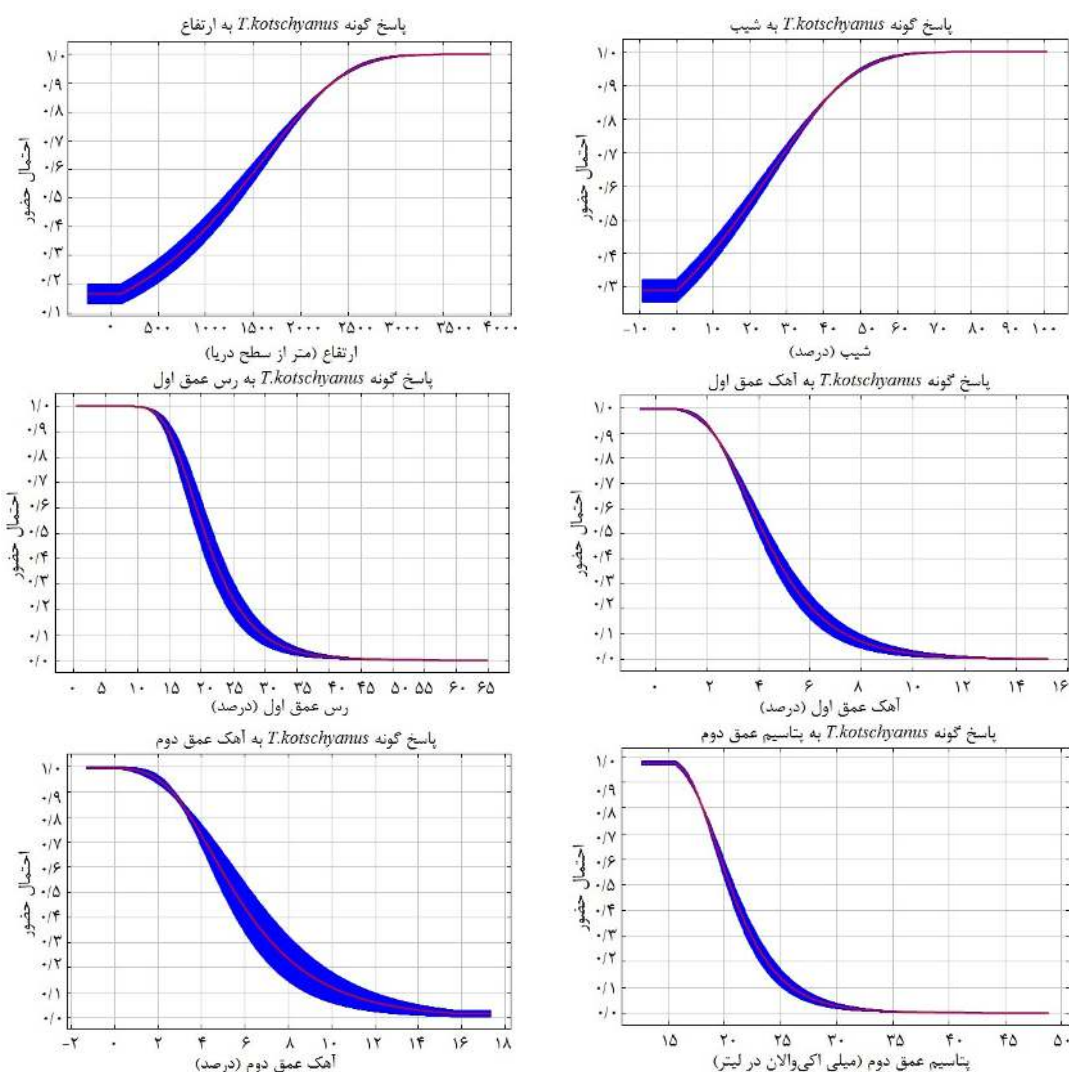
طبق نتایج به‌دست آمده از آزمون جک‌نایف مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه به ترتیب شامل متغیرهای رس عمق اول، تغییرات ضریب اندازه لکه، شیب، تراکم لبه، ارتفاع، فاصله تا اثرات انسانی، آهک عمق اول و

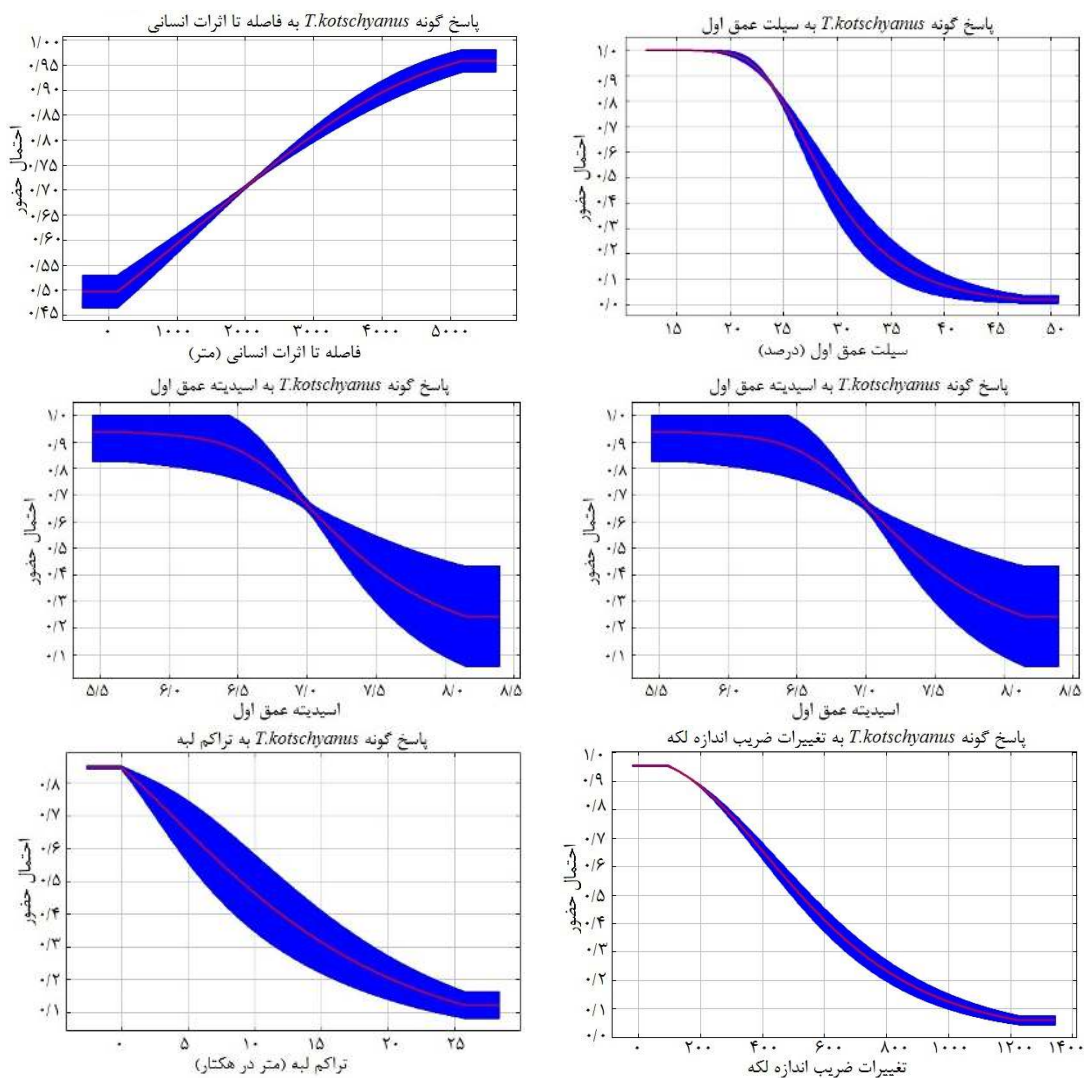


شکل ۵- نمودار جک‌نایف برای بررسی اهمیت هر یک از متغیرها بر مدل مطلوبیت زیستگاه *T. kotschyanus*

پتاسیم کمتر از ۱۸ میلی اکوی والان در لیتر و رس کمتر از ۱۵ درصد رخ داده است؛ که این موضوع نشان‌دهنده آن است که افزایش رس و سنگین شدن بافت خاک عاملی است که باعث عدم تناسب رویشگاه برای گونه مذکور شده است. به عبارت دیگر این گونه خاک‌هایی با بافت سبک و میزان پتاسیم، آهک و سیلت پایین را ترجیح می‌دهد. این گونه در شیب‌های ۳۵ تا ۵۵ درصد حداکثر حضور را دارد (شکل ۶).

منحنی‌های مربوط به متغیرهای محیطی مهم و دارای بیش‌ترین تأثیر در پراکنش گونه *T. kotschyanus* حاکی از آن است که این گونه رویشگاه‌هایی با تغییرات ضریب اندازه لکه پایین را ترجیح می‌دهند. با افزایش میزان اثرات حاشیه حضور این گونه کاهش می‌یابد که روند مشابه با ضریب تغییرات اندازه لکه دارد. با افزایش میزان پتاسیم و آهک عمق دوم، رس و سیلت عمق اول احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. بیش‌ترین حضور این گونه در خاک‌هایی با





شکل ۶- منحنی‌های پاسخ متغیرها برای گونه *T. kotschyanus*

همبستگی منفی داشتند بنابراین در مدل انتخاب شدند (جدول ۵).

روش رگرسیون لجستیک

با توجه به آماره والد متغیرهای شیب و خاک لخت با همبستگی مثبت و با متغیرهای شاخص تجمع و پتاسیم با

$$p = \frac{\exp\left((0.122 \times \text{شیب}) + (-0.116 \times \text{دوم عمق}) + (-0.292 \times \text{تجمع}) + (0.100 \times \text{لخت}) + 26.108\right)}{1 + \exp\left((0.122 \times \text{شیب}) + (-0.116 \times \text{دوم عمق}) + (-0.292 \times \text{تجمع}) + (0.100 \times \text{لخت}) + 26.108\right)}$$

جدول ۵: نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیونی مدل‌ها

متغیر	ضریب	اشتباه معیار	آماره والد	سطح معنی‌داری
شیب	۰/۱۲۲	۰/۰۳۳	۱۳/۴۲	۰/۰۰**
پتانسیم	-۰/۱۱۶	۰/۰۴۲	۷/۷۴	۰/۰۰**
شاخص تجمع	-۰/۲۹۲	۰/۱۲۵	۵/۴۲	۰/۰۳*
خاک لخت	۰/۱۰۰	۰/۰۴۳	۵/۴۴	۰/۰۳*
ضریب ثابت مدل	۲۶/۰۱۸	۱۱/۴۶۶	۵/۱۴	۰/۰۳*

آماره هوسمر و لمشاو برای تطابق تعداد موارد مشاهده شده و پیش‌بینی به کار می‌رود. با توجه به جدول (۶)، مقدار سطح معنی‌داری برای آماره هوسمر و لمشاو بالاتر از ۰/۰۵ است؛ در نتیجه رابطه لجستیک برای گونه مورد بررسی تطابق خوبی به داده‌ها داشته و معنی‌دار است. مقدار ضریب

تعیین شده براساس شاخص *Cox & Snell R Square* برابر ۰/۴۶ است و نشان می‌دهد که تنها ۴۶ درصد تغییرات متغیر پاسخ توسط متغیرهای پیش‌بینی بیان می‌شود.

جدول ۶: نتایج معیارهای ارزیابی کننده صحت مدل رگرسیون لجستیک

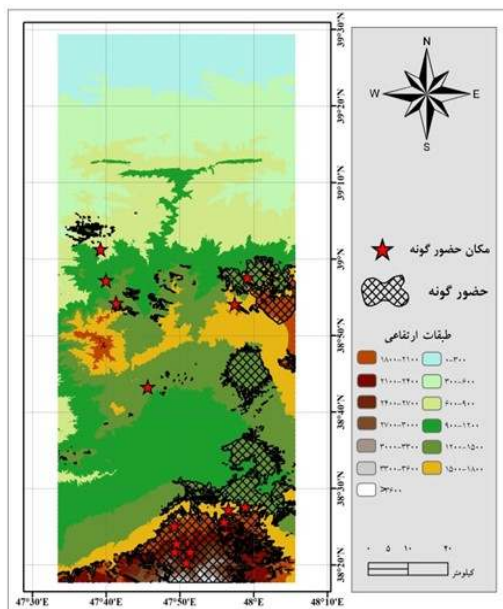
۴۷/۱۹	Chi-Square value
۰/۰۰	سطح معنی‌داری
۴	درجه آزادی
۲/۶۳	آزمون هوسمر - لمشاو
۰/۹۵	Chi-Square value
۸	سطح معنی‌داری
۰/۹۰	درجه آزادی
۰/۰۰	ROC
۰/۰۳	سطح معنی‌داری
۰/۴۶	اشتباه معیار
۰/۶۱	Cox & Snell R Square
	Nagelkerke R square

نتایج حاصل از مقایسه نقشه‌های پیش‌بینی به‌دست آمده با نقشه واقعی نشان می‌دهد که براساس مقادیر شاخص کاپای محاسبه شده، بیش‌ترین (۰/۶۴) میزان تطابق مربوط روش رگرسیون لجستیک است (جدول ۷).

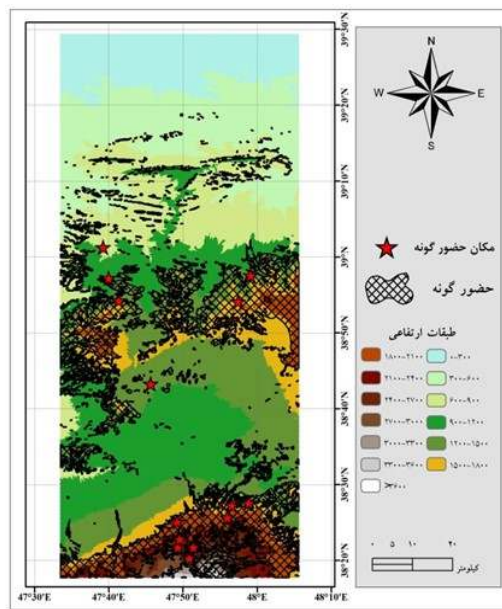
نقشه نهایی مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه براساس دو مدل انتروپی حداکثر و رگرسیون لجستیک در اشکال (۷ و ۸) نشان داده شده است. حضور واقعی گونه‌ها با ستاره قرمز رنگ در شکل نشان داده شده است.

جدول ۷: تعیین توافق مقادیر پیش‌بینی و واقعی برای نقشه‌های پیش‌بینی با استفاده از ضریب کاپا

مدل	ضریب کاپا	توافق بین مقادیر پیش‌بینی و مقادیر واقعی
انتروپی حداکثر	۰/۴۲	متوسط
رگرسیون لجستیک	۰/۶۴	خوب



شکل ۸: نقشه نهایی مدل سازی مطلوبیت زیستگاه *T. kotschyanus* براساس روش انتروپی حداکثر



شکل ۷: نقشه نهایی مدل سازی مطلوبیت زیستگاه *T. kotschyanus* براساس روش رگرسیون لجستیک

بحث و نتیجه گیری

پتاسیم در هر دو روش مدل سازی انتروپی حداکثر و رگرسیون لجستیک بر پراکنش گونه *T. kotschyanus* اثرگذار شناخته شد. افزایش پتاسیم در منطقه مورد مطالعه سبب کاهش حضور گونه شده است که با نتایج زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۵) در مراتع قرهباغ که افزایش پتاسیم را در گسترش گونه عاملی اثرگذار معرفی کرده‌اند در تضاد است.

در مطالعه حاضر مشخص شد که افزایش شیب (تا حدود ۵۰ درصد) تأثیر مثبتی بر حضور و پراکنش گونه دارد. اثر شیب بر روی عمق خاک ظاهر می‌شود، به نحوی که افزایش یا کاهش درجه شیب باعث کاهش یا افزایش عمق خاک شده که بر روی استقرار ریشه مؤثر است که با نتایج زارع چاهوکی و عباسی (۲۰۱۶) که افزایش شیب را عامل منفی در پراکنش این گونه دانستند تقابل دارد. شکراللهی و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیق خود در پلور آمل گزارش کردند که این گونه در مناطقی با شیب زیاد پراکنش دارد که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. محققان دیگری همچون لارتی و همکاران (۲۰۱۳)، درویشی و همکاران (۲۰۱۳) و بازیار و همکاران (۲۰۱۸) شیب را از عوامل

بوم‌شناختی مؤثر بر حضور گونه *T. kotschyanus* معرفی کردند.

نتایج نشان داد گونه مذکور تمایل به استقرار در خاک‌هایی با بافت متوسط تا سبک دارد و با افزایش مقدار رس از حضور گونه کاسته می‌شود و به این ترتیب می‌توان گفت این گونه بافت سبک خاک را ترجیح می‌دهد. زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی در مراتع اطراف روستای وشته طالقان میانی رویشگاه گونه *T. kotschyanus* را در طیف وسیعی از خاک‌های با بافت متوسط تا سنگین، بدون شوری و قلیائیت و اغلب آهکی گزارش کردند. در تحقیقی دیگر زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۵) در مراتع قرهباغ استان آذربایجان غربی حضور گونه را در مناطقی با میزان شن پایین (بافت سنگین) و مقدار آهک بالا (۱۲/۴ درصد) گزارش کردند که در تضاد با پژوهش حاضر است. قربانی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی عوامل مؤثر بر پراکنش گونه در مراتع جنوب استان اردبیل بیان کردند که در خاک‌های شنی، با سنگ و سنگریزه و سیلت بیش‌تر رشد بهتری دارد. در تحقیق دیگری درویشی و همکاران (۲۰۱۳) حضور این گونه را در خاک‌های ماسه‌ای و لومی گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

پاسخ *T. kotschyanus* نسبت به اسیدیته خاک هم‌نوی کاهشی است. در تحقیق دیگر قربانی و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند متغیر اسیدیته را در پراکنش گونه *T. kotschyanus* تأثیرگذار نیست که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد اما در تضاد با نتایج زارع چاهوکی و عباسی (۲۰۱۶) در طالقان است؛ با توجه به نتایج متفاوت حاصل توسط محققین متفاوت در این پارامتر خاک توصیه می‌گردد مطالعات بیش‌تری در مناطق با شرایط اکولوژیک متفاوت و با نوسانات بیش‌تری انجام گیرد تا نتایج قطعی‌تری به‌دست آید.

نتایج نشان داد گونه مورد مطالعه در بارندگی ۳۴۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر گسترش دارد. لارتنی و همکاران (۲۰۱۳) نتایج حاصل از بررسی رویشگاهی نشان داد که گونه *T. kotschyanus* در دامنه‌های ارتفاعی ۱۴۵۰-۲۵۰۰ متر و در شیب‌های ۶۰-۲۰ درصد و با میانگین بارش ۴۰۰-۶۰۰ میلی‌متر رویش دارد. قربانی و همکاران (۲۰۱۷) بیش‌ترین حضور گونه را در ارتفاع ۱۹۰۰-۱۵۰۰ و در دامنه‌ی بارندگی ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر گزارش کردند.

گونه *T. kotschyanus* به‌طور عمده مراتعی را ترجیح می‌دهند که به دور از سکونتگاه‌های انسانی به‌عنوان یک عامل تهدید کننده باشد. با توجه به ارزش دارویی گونه با تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها که باعث جدایی لکه‌های زیستگاهی و هجوم و اشغال به‌وسیله گیاهان مهاجم و فرصت‌طلب می‌شود در مهاجرت و استقرار این گونه‌های گیاهی نقش سوئی داشته و احتمال حضور گونه‌ها کاهش می‌یابد. لکه‌های زیستگاهی بزرگ و نسبتاً یکپارچه به‌ویژه در مناطق مرتفع زیستگاه مهم و ایده‌آلی را برای گونه فراهم می‌سازند و این مناطق باید در اولویت حفاظتی قرار گیرند (۱)؛ بنابراین اگر فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری، چرای دام و برداشت گیاهان برای مصارف مختلف به متغیرهای مورد بررسی در مدل اضافه شوند، ممکن است زیستگاه‌های مطلوب واقعی از آنچه در پژوهش حاضر برآورده شده است کوچک‌تر و مجزاتر شود (۴۱).

با مقایسه اعتبار مدل‌ها (براساس ضریب کاپای حاصل از نقشه‌ها میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی و واقعی) بین روش‌های انتروپی حداکثر و رگرسیون لجستیک مشخص گردید مدل مطلوبیت زیستگاه به‌دست آمده با روش

گونه مورد مطالعه در محدوده ارتفاعی ۲۷۰۰-۹۰۰ متری مشاهده شد و با افزایش ارتفاع احتمال حضور گونه افزایش یافت. جمشیدی و همکاران (۲۰۰۶) حضور گونه *T. kotschyanus* در ارتفاعات بالا را نشان‌دهنده مقاومت این گونه نسبت به سرما و شرایط سخت ارتفاعات دانستند. حبیبی و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه بر روی گونه *T. kotschyanus* در منطقه طالقان در ارتفاع ۲۸۰۰-۱۸۰۰ بیان کردند که در ارتفاعات جنوبی البرز در منطقه طالقان با افزایش ارتفاع جمعیت و تراکم این گونه افزایش پیدا می‌کند؛ به حدی که گیاه غالب در ارتفاعات ۲۸۰۰ متری این منطقه است. عصری (۲۰۱۲) طیف ارتفاعی وسیعی از ارتفاع (۳۹۰۰-۶۵۰۰ متری) برای گونه گزارش داد. در مطالعه زارع چاهوکی و عباسی (۲۰۱۶) در منطقه طالقان مناطقی با ارتفاع بیش‌تر از ۲۰۰۰ متر را مناسب گونه گزارش کردند. بازیار و همکاران (۲۰۱۸) در عکس‌العمل گونه *T. kotschyanus* نسبت به برخی متغیرهای محیطی با استفاده از تابع *HOF* در مراتع حوزه آبخیز گلندرد بیان کردند منحنی پاسخ گونه به ارتفاع، آستانه‌ای افزایشی است. با توجه به اینکه در مطالعات مختلف طیف ارتفاعی متفاوتی برای این گونه ذکر شده است؛ به نظر می‌رسد یا عامل ارتفاع در کنار عوامل دیگر اثری متفاوت در انتشار گونه *T. kotschyanus* دارد و یا واریته‌های متفاوتی از این گونه در مناطق گسترش دارد. لذا توصیه می‌گردد در مطالعات آینده با توجه به گسترش وسیع این گونه در ایران (عصری، ۲۰۱۲)، اولاً مطالعات دیگری در سایر مناطق ایران انجام گیرد، ثانیاً به واریته‌های این گونه نیز توجه بیش‌تری گردد. محققان دیگر (۲۶، ۲۷، ۳۶ و ۳۹) نیز عامل ارتفاع را از عوامل اثرگذار در پراکنش گونه *T. kotschyanus* دانستند. نتایج نشان داد اسیدیته در انتشار گونه مورد مطالعه سهم اثری پایینی دارد و در خاک‌هایی با اسیدیته ۵/۵ تا ۸ گونه مشاهده شد و با افزایش قلیائیت خاک حضور گونه کاهش یافت. پوربابایی و همکاران (۲۰۱۵) مهم‌ترین عامل در حضور گونه مورد مطالعه را اسیدیته معرفی کرده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد. شکرالهی و همکاران (۲۰۱۲) و معتمدی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقات خود به حضور گونه مذکور با درصد اسیدیته بالا اشاره کردند. بازیار و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند منحنی

در نهایت با توجه به اهمیت گونه مورد مطالعه که از گسترش وسیعی در منطقه مورد مطالعه برخوردار می باشد و همچنین از لحاظ ارزش دارویی و حفاظت خاک این گونه در مناطق کوهستانی و شیب دار که خاکها حساسیت بالایی به فرسایش دارند، انجام مطالعات بوم شناختی و کاربردی بر روی این گونه ها می تواند در زمینه حفاظت و حمایت به منظور مدیریت اصولی مورد استفاده قرار گیرند.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان از حمایت این معاونت سپاسگزاری می کنند.

رگرسیون لجستیک برای گونه مورد مطالعه نسبت به روش انتروپی حداکثر به واقعیت نزدیک تر بود. با توجه به نتایج اعتبارسنجی مدل ها، می توان گفت که تقریباً گونه مورد بررسی در منطقه مورد بررسی دامنه پراکنش وسیعی دارند و محدود به شرایط فیزیوگرافی خاصی نیست؛ مدل های ارائه شده برای آن قوی نیست.

در مجموع مقایسه عملکرد دو روش مدل سازی رگرسیون لجستیک و انتروپی حداکثر نشان می دهد که کارایی روش های مورد استفاده در مدل سازی رویشگاه گونه های مختلف متفاوت است و عملکرد پیش بینی مدل ها، علاوه بر ماهیت روش مورد استفاده و الگوریتم مدل سازی، تحت تأثیر خصوصیات مربوط به گونه ها مانند دامنه جغرافیایی پراکنش و نیازهای بوم شناختی گونه ها قرار می گیرد (۳۴).

References

1. Ashrafzadeh, M.R. & A.R. Nazarian, 2018. Habitat suitability modelling for the Caspian Snowcock (*Tetraogallus caspius*), as a typical high-montane species. *Iranian Journal of Natural environment*, 70(4): 745-756. (In Persian)
2. Asri, Y., 2012. Range plants of Iran, vol. 2: Dicotyledons. Publications of Research Institute of Forests and Rangelands.
3. Bagheri, H., A. Ghorbani, M.A. Zare Chahouki, A.A. Jafari & K. Sefidy, 2017. Halophyte species distribution modeling with MaxEnt model in the surrounding rangelands of Meighan playa, Iran. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(3): 1473- 1484.
4. Baziar, F., Gh.A. Dianatitilaki & S.J. Alavi, 2018. Investigating the response of *Thymus kotschyanus* Boiss. Et Hohen to some environmental variables using HOF function in Galandrood watershed rangeland. *Iranian Journal of environmental science and technology*. (In Persian)
5. Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 20: 37-46.
6. Curtis, J.T. & P.R. McIntosh., 1950. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Journal of Ecology*, 31: 434-455.
7. 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.
8. Elith, J., Graham, C.H., & Anderson, R.P. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
9. Esfanjani, J., A. Ghorbani & M.A. Zare Chahouki, 2018. MaxEnt Modeling for Predicting Impacts of Environmental Factors on the Potential Distribution of *Artemisia aucheri*, *Bromus tomentellus* and *Festuca ovina* in Iran. *Journal of Environmental Studies*, 27(3): 1041-4147.
10. Etter, A., C. McAlpine, K. Wilson, S. Phinn & H. Possingham, 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114: 369-386.
11. Felicisimo, A.M., Fraccas, E., Gonzalez, A., & J. Varas, 2002. Modeling the potential distribution of Forests With a GIS. *Journal of Photogrammetric engineering & Remote sensing*, 68(5):455-461.
12. Ghafari, S., A. Ghorbani, M. Moameri, R. Mostafazadeh & M. Bidarlord, 2018. Composition and structure of species along altitude gradient in Moghan-Sabalan rangelands, Iran. *Journal of Mountain Science*, 15(6): 1209-1228.
13. Ghorbani, A., V. Ahmadalei & A. Asghari, 2014. Study the effect of distance from village on plant diversity and composition in rangeland of Southeastern Sabalan. *Rangeland*, 8(2): 178-191. (In Persian)
14. Ghorbani, A. & B. Bahrami, 2017. The influence environmental factors on the Distribution of Plant Species in the Southeast Rangelands of Sabalan. *Iranian Journal of Watershed Management Research*, 30(2): 15-29.

- (In Persian)
15. Ghorbani, A., A. Pournemati, Z.S. Ghasemi & A. Shokuhian 2017. Comparison of some effective environmental factors on distribution of *Dactylis glomerata* L. and *Thymus kotschyianus* Boiss and Hohen. in South of Ardabil province. Iranian Journal of range and watershed management, 70(2): 449-464. (In Persian)
 16. Ghorbani, A., S. Mohammadi Moghaddam, K. Hashemi Majd & N. Dadgar, 2018. Spatial variation analysis of soil properties using spatial statistics: a case study in the region of Sabalan mountain, Iran. Journal of Eco.mont, 10(1): 60-70.
 17. Giovanelli, J.G.R., M.F. de Siqueira, C.F.B. Haddad & J. Alexandrino, 2010. Modeling a spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. Journal of Ecological Modelling, 221: 215-224.
 18. Habibi, H., D. Mazaheri, N. Majnoon Hosseini, M.R. Chaechechi, M. Fakhr-Tabatabaee & M. Bigdeli. 2007. Effect of altitude on essential oil and components in wild thyme (*Thymus kotschyianus* Boiss) Taleghan region. Iranian Journal of Pajouhesh & Sazandegi, 73: 2-10. (In Persian)
 19. Jamshidi, A., M. Aminzadeh, H. Azarnivand & M. Abedi, 2006. Effect of evaluation for quality and quantity of essential oil *Thymus kotschyianus* (Damavand-Tar). Iranian Journal of medicinal plants, 2 (18): 17-22. (In Persian)
 20. Larti, M., S. Ghasempour, E. Sharifi Ashorabadi & B. Alizadeh, 2013. The study of some ecological characteristics of *Thymus kotschyianus* Boiss. et Hohen and *Thymus pubescens* Boiss. & Kotschy ex Celak in West Azarbaijan. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29(2): 412-424. (In Persian)
 21. Latimer, A.M., WU, S.S., Gelfand, A.E., & Silander, J.A. 2006. Building statistical models to analyze species distribution. Ecological Applications 16: 33-50.
 22. Linkie, M., R.J. Smith & N. Leader-Williams, 2004. Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. Journal of Biodiversity and Conservation, 13: 1809-1818.
 23. Luoto, M., R.K. Heikkinen, J. Poyry & K. Saarinen, 2006. Determinants of biogeographical distribution of butterflies in boreal regions. Journal of Biogeography, 33: 1764-1778.
 24. Martínez, I., F. Carreño, A. Escudero & A. Rubio, 2006. Are threatened lichen species well-protected in Spain? Effectiveness of a protected areas network. Journal of Biological Conservation, 133: 500-511.
 25. Modares Gorji, H., M. Pir Bavaghar & L. Ghahramani, 2015. Comparison of Logistic Regression and Discriminate Analysis in Recognition of the Factors Affecting on the Distribution of *Quercus Libanii* of Armardeh Forests at Baneh, Kurdistan Province. Iranian Journal of Applied Ecology Isfahan University of Technology, 4(13): 79-87. (In Persian)
 26. Mohtashamnia, S., Gh. Zahedi & H. Arzani. 2008. An investigation on synecology of semi-steppe vegetation in relation to Edaphic and Physiographical factors (case study: eghlid rangelands of Fars). Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(6): 111-123. (In Persian)
 27. Motamedi, J., F. Alilou, E. Sheidai Karkaj, F. Keivan Behjou & R. Goreishi, 2013. Investigation on relationship environmental factors and grazing intensity with vegetation cover in Khoy rangeland ecosystems. Iranian Journal of Plant Ecosystem Conservation, 1(3): 73-90. (In Persian)
 28. Naqibzadeh, A., N. Razaee, J. Sarhangzadeh & N. Sayedi, 2018. Ideal modeling of wild Sheep habitat in wildlife refuge of Burueiyeh in Yazd province by using Maximum Entropy Model (MaxEnt). Iranian Journal of animal environment, 10(4): 75-82. (In Persian)
 29. Padalia, H., R.R. Bharti. Y.P.S. Pundir & K.P. Sharama, 2010. Geospatial multiple logistic regression approach for habitat characterization of scarce plant population: A case study of *Pittosporum eriocarpum* Royle (an endemic species of Uttarakhand, India). Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 38(3): 513-521.
 30. Pearson, R.G., 2007. Species distribution modeling conservation educators and practitioners. Synthesis. New York. American Museum of Natural History.
 31. Peterson, A.T. & J. Shaw., 2003. Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distribution, and climate change effects. International Journal for Parasitology, 33: 919-931.
 32. Peterson, A.T., J. Soberón, R.G. Pearson, R.P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura & M.B. Araujo, 2011. Ecological Niches and Geographic Distributions. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 328p.
 33. Phillips, S.J., R.P. Anderson & R.E. Schapire, 2006. Maximum entropy modeling of speciesgeographic distributions. Journal of Ecological Modelling, 190: 231-259.
 34. Piri Sahragard, H. & M.A. Zare Chahouki., 2015. An evaluation of predictive habitat models performance of plant species in Hoze soltan rangelands of Qom province. Journal of Ecological Modelling, 309-310: 64-71.
 35. Piri Sahragard, H., 2018. Predictive modeling of plant species habitat distribution using logistic regression

- (A case study in western Taftan, Khash City). Iranian Journal of palnt researches (Iranian Journal of biology), 30(4): 917-928. (In Persian)
36. Pourbabaei, H., V. Rahimi & M.N. Adel, 2015. Effect of Environmental Factors on Rangeland Vegetation Distribution in Divan-Darre Area, Kurdistan. Iranian Journal of Applied Ecology, 4(11): 27-39. (In Persian)
 37. Qin, Z., J.E. Zhang, A.D. Tommaso, R.L. Wang & R.S. Wu, 2015. Predicting invasions of *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc with Maxent and GARP models. Journal of Plant Research, 128: 763-775.
 38. Safaei, M., M. Tarkesh, M. Basiri & H. Bashari, 2013. Determining the potential habitat of *Astragalus verus* Olivier using the geostatistical and logistic regression methods. Iranian Journal of Arid Biome Scientific and Research, 3(1):42-55. (In Persian)
 39. Shokrollahi, SH., H.R. Moradi & GH.A. Dianatitilaki, 2012. The investigation of some environmental factors affecting on *Thymus kotschyanus* Boiss in Polur summer rangelands. Iranian Journal of Plant and Ecosystem, 30(8): 69-87. (In Persian)
 40. Soberón, J. & A.T. Peterson, 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. Journal of Biodiversity Informatics, 2: 1-10.
 41. Wang, B., Y. Xu & J. Ran, 2017. Predicting suitable habitat of the Chinese monal (*Lophophorus lhuysii*) using ecological niche modeling in the Qionglai Mountains, China. PeerJ, 5, e3477.
 42. Zaniwski, A.E., A. Lehmann & J.M. Overton, 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. Journal of Ecological modelling, 157(2-3): 261-280.
 43. Zare Chahouki, M.A., H. PirySahragard & H. Azarnivand, 2013. Habitat distribution modeling of some halophyte plant species using Maximum Entropy Method (Maxent) in HozeSoltan rangelands of Qum Province. Rangeland, 7(3): 212-221. (In Persian)
 44. Zare Chahouki, M.A., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2015a. Evaluation of logistic regression model in provides the spatial distribution map of plant species (Case Study: Taleghan Miany rangelands). Rangeland, 4: 320-332. (In Persian)
 45. Zare Chahouki, M.A., M. Mashgholi & H. Jafari, 2015b. Classification of vegetation cover related to environmental factors (case study: Gharabagh rangelands of Azarbaijan province). Iranian Journal of Plant research (Iranian journal of biology), 28(5): 995-1005). (In Persian)
 46. Zare Chahouki, M.A., M. Hosseini & A. Tavili, 2016. Effective environmental factors on of plants diversity in Taleghan rangelands (Case study: Veshteh rangelands). Iranian Journal of palnt researches (Iranian Journal of biology), 28(2): 307-315. (In Persian)
 47. 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).
 48. Zare Chahouki, M.A., & M. Abbasi., 2017. Habitat suitability modeling *Stipa barbata* species using Ecological Niche Factor Analysis (case study: Taleghan Rangelands). Iranian Journal of natural ecosystem of Iran, 7(4): 1- 16. (In Persian)
 49. Zare Chahouki, M.A. & N. Nasser Hesari., 2018. Habitat distribution modeling of some plant species using logistic regression in the semi-arid rangelands. (Case study: Eshtehard rangelands). Iranian Journal of palnt researches (Iranian Journal of biology). 31(1): 29-44. (In Persian)
 50. Zare Chahouki, M.A., N. Nasser Hesari & M. Jafari, 2018. Habitat distribution modeling of plant species using Maximum Entropy Method (Case study: rangeland of Eshtehard). Iranian Journal of Range and Desert Research, 25(2): 298-309. (In Persian)
 51. Zare Chahouki, M.A., M. Abbasi & H. Azarnivand, 2018. Prediction of potential habitat for *Stipa barbata* species using maximum entropy model (Case Study: Taleghan Miany rangelands). Rangeland, 12(1): 35-47. (In Persian).
 52. Zhang, K., L. Yao, J. Meng & J. Tao, 2018. Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. Journal of Science of the Total Environment, 634: 1334-1326.