فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۲۵، شماره ۲، صفحه ۳۰۹-۲۹۸ (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijrdr.2018.116842

مدل‌سازی پراکنش تیپ‌های گیاهی با استفاده از روش آنتروپی حداکثر (مطالعه موردی: مراتع غرب شهرک صنعتی اشتهارد)

محمدعلی زارع چاهوکی[1*]، نرگس ناصری حصار[2] و محمد جعفری[3]

۱*- نویسنده مسئول، استاد، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: mazare@ut.ac.ir
۲- کارشناس ارشد مرتع‌داری، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- استاد، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۳

چکیده

این پژوهش با هدف مدل‌سازی پراکنش تیپ‌های گیاهی مراتع غرب شهرک صنعتی اشتهارد با روش آنتروپی حداکثر و تعیین عوامل مؤثر بر حضور هر تیپ انجام شد. اطلاعات پوشش گیاهی و عوامل محیطی شامل خاک و توپوگرافی جمع‌آوری و بعد نقشه تیپ‌بندی اولیه با استفاده از نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردید. در هر سایت، سه ترانسکت ۷۵۰ متری، دو ترانسکت در جهت شیب و یک ترانسکت عمود بر جهت شیب مستقر شد. ۴۵ پلات نمونه‌برداری با فواصل ۵۰ متری در امتداد هر ترانسکت قرار داده شد. اندازه پلات نمونه‌برداری باتوجه به نوع و پراکنش گونه‌های گیاهی به روش سطح حداقل و سطح مستطیلی شکل ۲ مترمربعی تعیین گردید. در هر پلات فهرست گونه‌های موجود و درصد پوشش گیاهی تعیین شد. در ابتدا و انتهای هر ترانسکت پروفیل خاک حفر و نمونه‌برداری از دو عمق ۲۰-۰ و ۸۰-۲۰ سانتی‌متر انجام شد. برای هر واحد نمونه‌برداری، اطلاعات طول و عرض جغرافیایی، شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا نیز تعیین گردید. نقشه متغیرهای محیطی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار تهیه شد. سپس نقشه‌های پیش‌بینی مربوط به پراکنش تیپ‌های گیاهی با استفاده از روش مدل‌سازی آنتروپی حداکثر تهیه و میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی با نقشه‌های واقعی با استفاده از ضریب کاپا و دقّت مدل‌های حاصل با استفاده AUCl ارزیابی گردید. بر اساس ضریب کاپای حاصل از مقایسه نقشه‌ها، میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی و واقعی برای تیپ *Pteropyrum olivieri* در سطح خیلی خوب (ضریب کاپا ۰/۷) و برای تیپ‌های *Halocnemum strobilaceum, Salsola Artemisia sieberi, Artemisia sieberi–richteri* و *Artemisia sieberi–Stipa barbata* در سطح خوب (ضرایب کاپای ۰/۶۶، ۰/۶۴، ۰/۵۷ و ۰/۶۶) ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: آنتروپی حداکثر، مدل پیش‌بینی رویشگاه، مراتع اشتهارد، ضریب کاپا.

مقدمه

تجزیه‌وتحلیل رابطه بین محیط و گونه گیاهی همواره یک مسئله محوری در بوم‌شناسی گیاهیست. تعیین این رابطه نشان‌دهنده هسته مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهیست. مدل‌ها به‌طور کلی بر اساس فرضیه‌های مختلفی هستند که چطور عوامل محیطی، توزیع گونه‌ها و جوامع گیاهی را کنترل می‌کنند. ورودی کلیدی مدل‌های پیش‌بینی توزیع رویشگاه گونه‌ها، مجموعه‌ای از داده‌های جغرافیایی رستری است که نشان‌دهنده پارامترهای محیطی است که معمولا به‌طور گسترده توزیع گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خروجی حاصل بر اساس رویشگاه گونه است که به‌صورت یک نقشه منعکس‌کننده توزیع قابلیت گونه

بدست می‌آید. امروزه روش‌های مدل‌سازی متعددی به‌منظور پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی استفاده می‌شود که از بین آنها می‌توان به روش‌های رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی مصنوعی، تحلیل عامل آشیان بوم‌شناختی و آنتروپی حداکثر اشاره کرد. از بهترین روش‌های مدل‌سازی پیش‌بینی رویشگاه گونه گیاهی، روش آنتروپی حداکثر (ME) است که تنها نیاز به داده‌های حضور دارد. این مدل، محل حضور را با متغیرهای محیطی در آن مناطق بررسی می‌کند و بعد در سراسر منطقه مورد مطالعه از اصول حداکثر آنتروپی برای تولید پیش‌بینی تناسب رویشگاه در مناطقی که نمونه‌برداری نشده‌اند، استفاده می‌کند (Evangelista *et al.*, 2008). این مدل معیاری منطقی و در عین حال تجربی را برای انتخاب بهترین تابع توزیع احتمالاتی، از مجموعه‌ای از توزیع‌های موردنظر بدست می‌دهد. توزیعی بهترین خواهد بود که تابع آنتروپی را با توجه به محدودیت‌ها با حداقل خطا بیشینه می‌کند، بنابراین توزیعی که آنتروپی بالاتری داشته باشد، دربرگیرنده عوامل و انتخاب‌های بیشتری است (محدودیت کمتر).Baldwin (۲۰۰۹)، حداقل سه نقطه قوت برای ماکسنت بیان می‌کند:

به تعداد نسبتاً کمی از نقطه‌های حضور برای ساخت یک مدل دقیق نیاز دارد؛

۲- حساسیت کمی به مناطقی دارد که حضور گونه در آن نامعلوم است؛

۳- نقشه خصوصیاتی را که نشان‌دهنده حضور احتمالی یک گونه در یک مکان خاص است فراهم می‌کند.

به‌طور کلی می‌توان گفت آنتروپی معیاری است که به ما نشان می‌دهد که چه عواملی و به چه میزان در انتخاب یا بروز یک رویداد نقش دارد. ZareChahouki و همکاران (۲۰۱۳)، پژوهشی با هدف پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی با روش مدل‌سازی آنتروپی حداکثر در مراتع حوض‌سلطان قم انجام دادند. اطلاعات پوشش گیاهی از طریق پلات‌گذاری در امتداد چهار ترانسکت ۲۰۰-۱۰۰۰ متری و عوامل رویشگاهی از قبیل پستی و بلندی، اقلیم، زمین‌شناسی و خاک جمع‌آوری شد. برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک نیز در ابتدا و انتهای هر ترانسکت یک پروفیل حفر و از دو عمق ۳۰-۰ و ۸۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه خاک برداشت شد. بر اساس نتایج این پژوهش، متغیرهای هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، آهک، اسیدیته و بافت خاک مهمترین ویژگی‌های هستند که باعث تفکیک رویشگاه‌های مورد مطالعه شده‌اند. همچنین بررسی میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی با نقشه‌های واقعی با استفاده از ضریب کاپا نشان‌دهنده تطابق متوسط برای گونه‌های *Seidlitzia rosmarinus* و*Tamarix passerinoides* و در سطح خیلی خوب برای رویشگاه‌های *Artemisia sieberi* و*Halocnemum strobilaceum* ارزیابی شد. Hosseini و همکاران (۲۰۱۳) نیز پژوهشی با هدف برآورد توزیع *جغرافیایی Artemisia sieberi* و *A. aucheri* و تعیین مهمترین متغیرهای پیش‌بینی کننده محیطی و تعیین شباهت‌ها و تفاوت‌های رویشگاه‌های دو گونه گیاهی مراتع پشتکوه در ایران مرکزی انجام دادند. آهک عمق اول، سنگریزه عمق دوم، آهک عمق دوم و ارتفاع مهمترین عواملی است که بر توزیع رویشگاه درمنه کوهی تأثیر می‌گذارد، در حالی‌که توزیع رویشگاه درمنه دشتی توسط ارتفاع، رطوبت عمق اول، ماده آلی عمق دوم و آهک هر دو عمق تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برای هر دو گونه، ارتفاع در توزیع بالقوه‌شان مؤثر است. در نهایت، نتایج نشان داد که توزیع بالقوه درمنه کوهی اغلب به چشم‌اندازهای کوهستانی محدود است، در حالی‌که درمنه دشتی در محدوده گسترده‌ای از شرایط محیطی رویش می‌کند. Mbatudde و همکاران (۲۰۱۲)، توزیع بالقوه گونه در معرض خطر *Prunus africana* در شرق آفریقا را مدل‌سازی کردند. در این پژوهش از الگوریتم ماکسنت برای مدل‌سازی توزیع و ارزیابی توزیع بالقوه و تأثیرات تغییر آب و هوا بر این گونه استفاده شد. بارش خشک‌ترین سه ماه از سال و بارش سالانه از عوامل اصلی مؤثر بر توزیع آن پیش‌بینی شد. تغییرات آب و هوایی منجر به کاهش زیستگاه گونه شده است. در نهایت به‌دلیل آسیب‌پذیری زیاد این گونه در برابر تغییر آب و هوا، حفاظت برون‌جا و درجا از این گونه پیشنهاد شد. Vessella و Schirone (۲۰۱۳)، در پژوهشی احتمال وجود درخت بلوط چوب پنبه (*Quercus suber*) را در ایتالیا با دو روش GARP

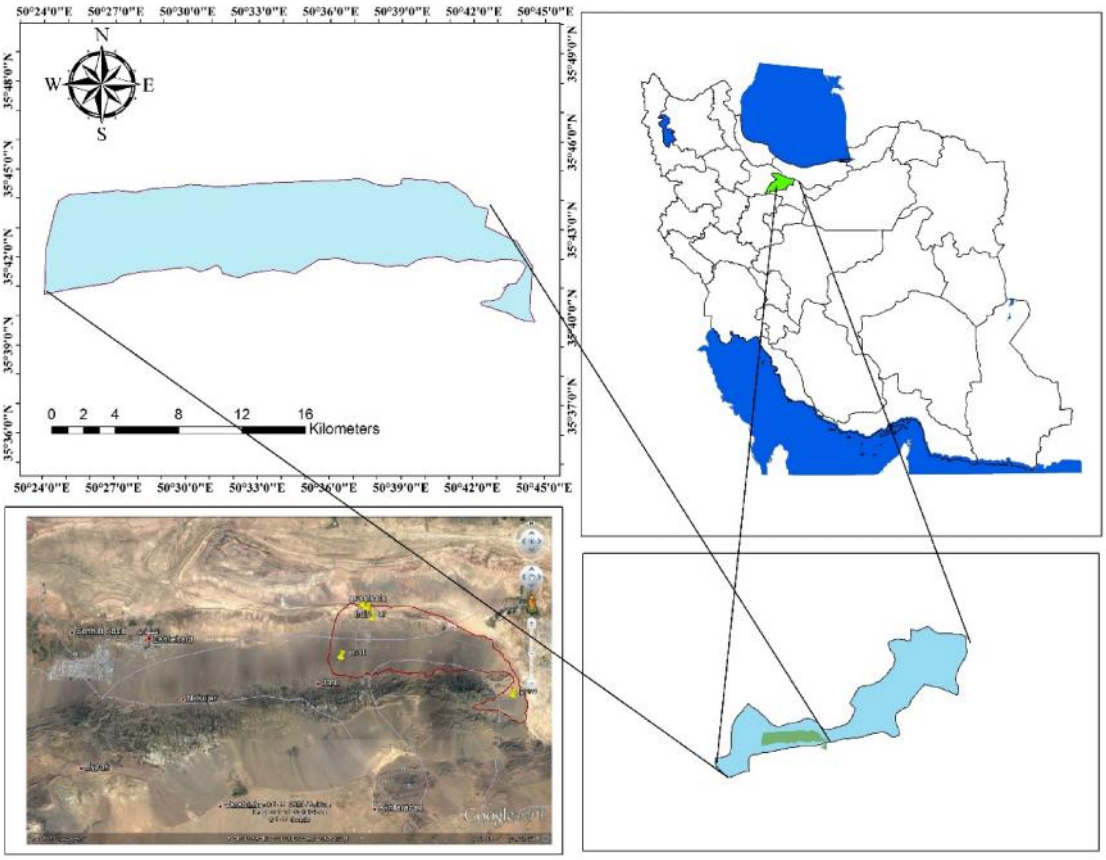
و MAXENT با هم مقایسه کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که تنش خشکی و سرما از عوامل مؤثر بر حضور بلوط چوب پنبه می‌باشد. همچنین صحت نقشه‌های پیش‌بینی به‌دست آمده با روش‌های زمین آماری که در مقیاس منطقه‌ای کالیبره شد، نشان می‌دهد که مدل‌سازی توزیع رویشگاه می‌تواند به‌عنوان روشی برای ارزیابی و شناسایی مناطق مناسب گسترش جنگل‌های بلوط چوب پنبه مورد استفاده قرار گیرد. Yang و همکاران (۲۰۱۳) نیز برای پیش‌بینی توزیع بالقوه گونه دارویی *Justicia adhatoda* در کوهپایه‌های هیمالیا از مدل ماکسنت استفاده کردند.

اهداف این پژوهش، بررسی کارایی و دقت مدل آنتروپی حداکثر در مدل‌سازی رویشگاه‌های گیاهی منطقه مورد بررسی، تعیین عوامل مؤثر بر حضور هر رویشگاه و تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه‌های مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه موردمطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۳۰۹۹/۳۳ هکتار بخشی از مراتع شهرستان اشتهارد در جنوب‌غربی استان البرز است. این مراتع که به‌عنوان مراتع قشلاقی-میان‌بند بهره‌برداری می‌شود، بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی با ارتفاع متوسط بین ۱۱۳۰ تا ۱۳۸۸ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۲۳۰ میلی‌متر است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جمع‌آوری داده‌ها

ابتدا بر اساس نقشه‌های شیب، ارتفاع و جهت و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نقشه تیپ‌بندی اولیه تهیه و بعد در پیمایش میدانی مرز دقیق تیپ‌های گیاهی مشخص شد. انتخاب محل نمونه‌برداری در هر تیپ به گونه‌ای بود که ناحیه به نسبت همگن بوده و معرف وضعیت پوشش گیاهی و سایر عوامل محیطی کل واحد نمونه‌برداری باشد. سپس در منطقه معرف هر تیپ گیاهی، سه ترانسکت ۷۵۰ متری، دو ترانسکت در طول مهمترین گرادیان‌های محیطی (ارتفاع، جهت و شیب) و یک ترانسکت عمود بر آن دو ترانسکت مستقر شد. به این صورت که اولین ترانسکت به‌صورت تصادفی و ترانسکت دوم به روش سیستماتیک به‌طور منظم و با فاصله مشخص از اولی قرار داده شد. ترانسکت سوم نیز در هر واحد به‌طور عمود بر دو ترانسکت اول و با فاصله مشخص قرار داده شد. از روش پلات‌گذاری در امتداد ترانسکت در هر واحد نمونه‌برداری استفاده شد. محل استقرار پلات‌ها در امتداد هر خط ترانسکت، تصادفی و بقیه به فاصله‌های منظم مستقر شدند. در طول هر ترانسکت ۱۵ پلات، به فاصله ۵۰ متر قرار داده شد که به‌دلیل زیاد بودن طول دامنه و شرایط محیطی منطقه این فاصله مدنظر قرار گرفت. بدین‌ترتیب در هر تیپ گیاهی، ۴۵ عدد پلات مستقر شد. اندازه پلات نمونه‌برداری باتوجه به نوع و پراکنش گونه‌های گیاهی به روش سطح حداقل، سطح مستطیلی شکل ۲ مترمربعی تعیین گردید. در هر پلات فهرست گونه‌های موجود و درصد پوشش گیاهی تعیین شد. در مورد نمونه‌برداری از خاک با توجه به سطح واحدهای نمونه‌برداری و شرایط منطقه محل حفر پروفیل‌ها طوری انتخاب شد تا کل محدوده مورد مطالعه را پوشش دهد. در هر رویشگاه، شش پروفیل خاک حفر شد و عمق پروفیل‌ها با توجه به عمق خاک و عمق مؤثر ریشه‌دوانی گونه‌های مورد مطالعه دو عمق نمونه‌برداری ۲۰-۰ و ۸۰-۲۰ سانتی‌متر انتخاب شد. برای هر واحد نمونه‌برداری، اطلاعات طول و عرض جغرافیایی، شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا نیز تعیین شد. در مرحله بعد متغیرهای خاک شامل سنگریزه، رس، سیلت، آهک، ماده آلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. متغیرهای توپوگرافی و خاک به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور کاهش تعداد متغیرها از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) و نرم‌افزار PC-ORD استفاده شد. نقشه مربوط به خصوصیات خاک مورد استفاده در تحقیق، با استفاده از زمین آمار و روش میان‌یابی کریجینگ (Kriging) و نرم‌افزار Arc GIS 9.3 و +GS 5 تهیه شد. برای تهیه نقشه شیب و ارتفاع نیز از نقشه رقومی ارتفاع منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد.

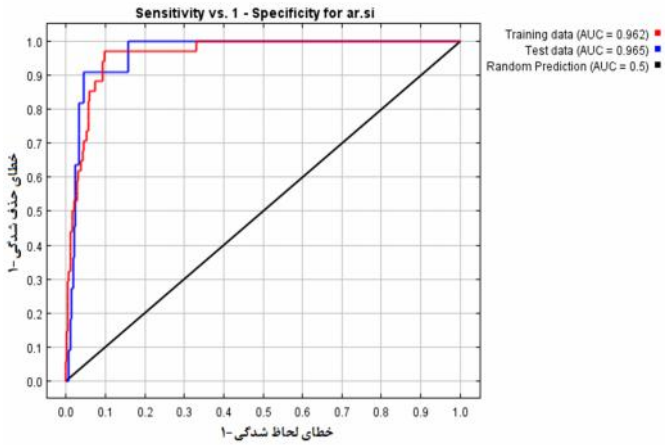
مدل‌سازی

برای ساخت مدل آنتروپی حداکثر، لازم است تمامی نقشه‌های متغیرهای محیطی ورودی به مدل، با فرمت ASCII در نرم‌افزار GIS تهیه شود. تمام این نقشه‌ها باید موقعیت مکانی، اندازه سلول، تعداد سلول و سیستم مختصات یکسانی داشته که مدل توانایی انطباق کامل آنها را داشته باشد. برای هر رویشگاه، موقعیت جغرافیایی پنجاه نقطه حضور که در بازدید میدانی ثبت شده بود، در فایلی با فرمت CSV در نرم‌افزار Excel ذخیره شد. پس از آماده‌سازی لایه‌ها از نرم‌افزار MAXENT Version 3.3.3e برای انجام مدل‌سازی استفاده شد. ۱۰ تکرار برای مدل‌سازی هر رویشگاه و با روش Cross validate در نظر گرفته شد. آزمون جک‌نایف برای ارزیابی اهمیت تک تک متغیرها در تهیه مدل استفاده شد و تحلیل منحنی ویژگی عامل دریافت کننده (Receiver Operating Characteristic curve) (ROC) و مساحت زیرمنحنی (AUC) برای ارزیابی کیفیت کلی مدل مورد استفاده قرار گرفت. منحنی ROC دستیابی به AUC را در سه حالت مختلف نشان می‌دهد. حالت اول، بیانگر زمانی است که مدل با حذف متغیر محیط مورد نظر انجام می‌شود. حالت

دوم، مربوط به زمانی است که مدل تنها براساس وجود یک متغیر انجام می‌شود و براساس آن میزان AUC برآورد می‌شود و حالت سوم، در شرایطی است که تمام متغیرها در مدل استفاده می‌شوند (Reed *et al.*, 2008). خروجی مدل برای هر بار تکرار یک نقشه پیوسته، احتمال حضور رویشگاه است که نقشه میانگین ۱۰ تکرار به‌عنوان خروجی نهایی در نظر گرفته می‌شود. این نقشه در دو کلاس احتمال ۰-۰/۵ به‌عنوان عدم حضور رویشگاه و کلاس احتمال ۰/۵-۱ به‌عنوان حضور رویشگاه طبقه‌بندی می‌شود. در پایان نیز ضریب کاپا برای بررسی میزان تطابق بین نقشه حاصل از مدل آنتروپی حداکثر و نقشه واقعی محاسبه شد.

نتایج

نتایج بررسی پوشش گیاهی منطقه نشان می‌دهد که مراتع منطقه دارای وضعیت متوسط و گرایش ثابت و شامل تیپ‌های گیاهی غالب *Artemisia sieberi*، *Artemisia sieber-Stipa barbata*، *Artemisia sieberi-Salsola richteri* و *Halocnemum strobilaceum* می‌باشد. پس از انجام مدل‌سازی نقشه پیوسته پیش‌بینی هر تیپ بدست آمد و احتمال ۰/۵ به‌عنوان حضور هر تیپ در نظر گرفته شد و نقشه طبقه‌بندی شده پراکنش هر تیپ تهیه شد. سپس تطابق بین این نقشه و نقشه واقعی هر رویشگاه با استفاده از ضریب کاپا در محیط نرم‌افزار IDRISI 16.1 بررسی شد. بر اساس ضرایب کاپای حاصل شده، میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی و واقعی برای تیپ *Pteropyrum olivieri* در سطح خیلی خوب و برای تیپ‌های *Halocnemum strobilaceum*، *Artemisia sieberi –Salsola richteri*، *Artemisia sieberi* و *Artemisia sieberi–Stipa barbata* در سطح خوب ارزیابی شد. نقشه‌های پیش‌بینی هر تیپ به همراه نقشه واقعی پوشش گیاهی منطقه در شکل (۳) نمایش داده شده است. همچنین به‌منظور ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی حاصل، از روش تحلیل سطح زیرمنحنی (AUC) استفاده شد. ماکسنت دو منحنی ROC بر اساس داده‌های یادگیری (Training data) و آزمون (Test data) تولید می‌کند. AUC بیش از ۰/۹ بیانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل است. ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی با استفاده از سطح زیرمنحنی مربوط به داده‌های یادگیری نشان‌دهنده دقت مدل پیش‌بینی برای رویشگاه‌ها در سطح خیلی عالی است. شکل ۲ منحنی ROC مربوط به تیپ *Artemisia sieberi* را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از سطح زیرمنحنی و دقت پیش‌بینی برای رویشگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ آمده است.

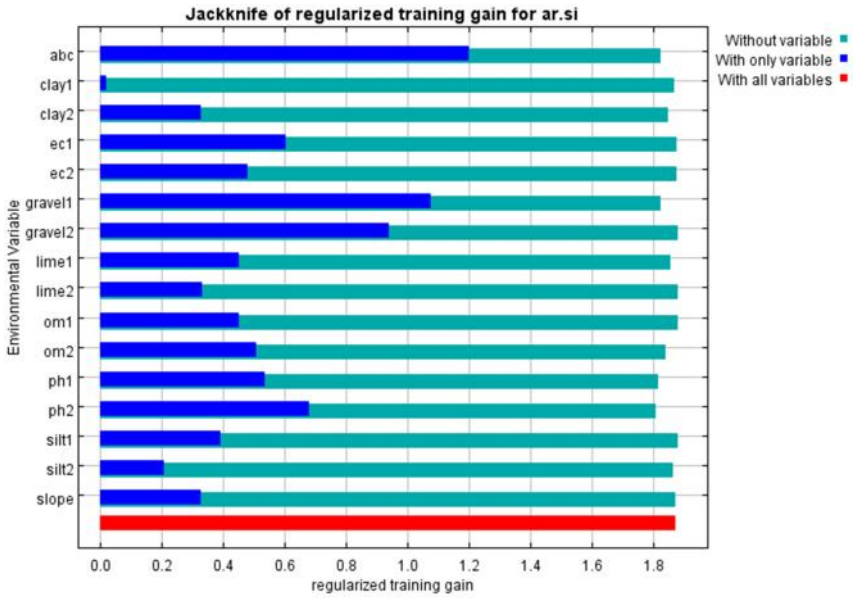


شکل ۲- منحنی ROC و مقدار AUC مدل پیش‌بینی تیپ *Artemisia sieberi*

جدول ۱- سطح زیر منحنی و دقت طبقه‌بندی پیش‌بینی تیپ‌های گیاهی

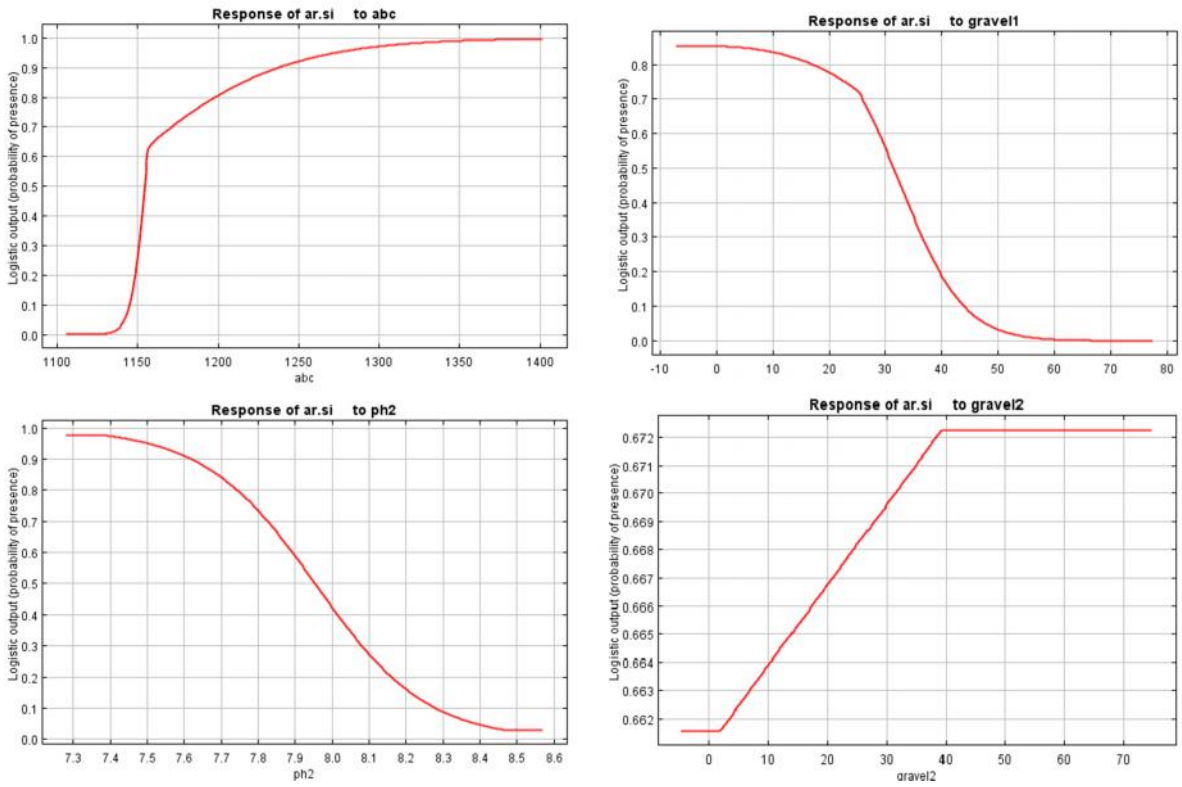
تیپ گیاهی	AUC	دقت طبقه‌بندی
Artemisia sieberi	۰/۹۶	خیلی عالی
Artemisia sieberi–Stipabarbata	۰/۹۶	خیلی عالی
Halocnemumstrobilaceum	۰/۹۷	خیلی عالی
Salsolarichteri -Artemisia sieberi	۰/۹۸	خیلی عالی
Pteropyrumolivieri	۰/۹۲	خیلی عالی

شکل ۲ نمایشی از نتایج آزمون جک‌نایف برای تعیین مهمترین متغیرهای محیطی در پراکنش تیپ *Artemisia sieberi* است که طبق این نتایج، اهمیت عوامل ارتفاع، اسیدیته خاک، درصد سنگریزه و هدایت الکتریکی خاک سطحی برای حضور این تیپ گیاهی معنی‌دار است. نتایج آزمون جک‌نایف برای عوامل محیطی تیپ *Pteropyrum olivieri* حکایت از اهمیت عوامل ارتفاع، ماده‌آلی عمق دوم، شیب و سنگریزه عمق دوم در حضور این رویشگاه دارد. در حضور تیپ *Halocnemum strobilaceum* عامل ارتفاع از سطح دریا مهمترین متغیر محیطی است و پس از آن عامل سنگریزه خاک، هدایت الکتریکی عمق اول و آهک عمق دوم نقش مهمی در پراکنش این گونه دارند. در پراکنش تیپ *Artemisia sieberi–Salsola richteri* متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، سنگریزه عمق اول، سیلت عمق دوم خاک و هدایت الکتریکی عمق اول تأثیرگذارترین متغیرها بودند. برای پراکنش تیپ *Artemisia sieberi–Stipa barbata* ارتفاع، سیلت و سنگریزه خاک و همچنین درصد شیب مهمترین عوامل رویشگاهی‌اند.



شکل ۳- نتایج آزمون جک‌نایف برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی مؤثر بر تیپ ***Artemisia sieberi***

تحلیل منحنی‌های پاسخ این عوامل نشان می‌دهد که بیشترین حضور تیپ *Halocnemum strobilaceum* در مناطقی با ارتفاع کم و حدود ۱۱۰۰ تا ۱۱۵۰ پیش‌بینی می‌شود و با افزایش ارتفاع احتمال حضور این رویشگاه کم می‌شود و حضور این رویشگاه به مقدار کم سنگریزه (کمتر از یک درصد) وابسته است و با افزایش درصد سنگریزه احتمال حضور این رویشگاه به شدت کم می‌شود و در مناطق سنگریزه‌ای که بیش از ۲۰ درصد سنگریزه دارند احتمال حضور به صفر می‌رسد. این منحنی‌ها همچنین نشان می‌دهند که احتمال حضور این رویشگاه در خاک‌هایی با EC عمق دوم بالا (۱۰-۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و میزان آهک عمق دوم (۱۰-۱۲ درصد) زیاد است. احتمال حضور تیپ *Salsola Artemisia sieberi-richteri* با افزایش سیلت عمق دوم نسبت مستقیم دارد و در درصد سیلت ۲۶/۵-۲۵ بیشترین حضور را نشان می‌دهد، ولی پس از آن با افزایش درصد سیلت احتمال حضور این رویشگاه کم می‌شود. همچنین این تیپ خاک‌هایی با هدایت الکتریکی بالا در عمق اول را ترجیح می‌دهد و بیشترین حضور را در هدایت الکتریکی ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر دارد. این رویشگاه در ارتفاعات پایین و مناطق دشتی دیده می‌شود و با افزایش ارتفاع احتمال حضورش کم و در ارتفاعات بالاتر از ۱۲۰۰ متر احتمال حضور گونه صفر می‌شود. علاوه بر اینها می‌توان گفت میزان سنگریزه ۱۰-۸ درصد می‌تواند به‌عنوان یکی از شرایط لازم برای حضور این تیپ به حساب آید. منحنی‌های مربوط به متغیرهای مهم در پراکنش تیپ *Artemisia sieberi* نشان‌دهنده این است که با افزایش ارتفاع از محدوده ۱۱۵۰ تا ۱۳۵۰ احتمال حضور این گونه افزایش پیدا می‌کند ولی پس از آن حضور گونه متأثر از ارتفاع نیست و ثابت می‌شود. این گونه خاک‌های خنثی با اسیدیته بین ۷/۴ تا ۷/۹ را ترجیح می‌دهد و با قلیایی شدن خاک، احتمال حضور این تیپ کم می‌شود. این گونه در خاک‌هایی با EC کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر حضور خوبی داشته ولی با افزایش هدایت الکتریکی از میزان احتمال وقوع این تیپ کم می‌شود. طبق این نتایج، حضور این رویشگاه با درصد سنگریزه عمق اول خاک نسبت معکوس دارد و در خاک‌هایی با سنگریزه بیش از ۱۰ درصد احتمال حضور این تیپ به نزدیک صفر می‌رسد. احتمال حضور تیپ *Artemisia sieberi-Stipa barbata* در ارتفاع بیش از ۱۱۸۰ متر و شیب بیش از ۴ درصد کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده این موضوع است که این تیپ مناطق دشتی و هموار را ترجیح می‌دهد. حضور این رویشگاه با هدایت الکتریکی نیز نسبت عکس دارد و هر چه خاک شورتر باشد، برای حضور رویشگاه نامناسب‌تر می‌شود. علاوه بر این می‌توان بیان کرد که احتمال حضور رویشگاه با افزایش سنگریزه در عمق دوم بیشتر می‌شود. نتایج حاصل از منحنی پاسخ احتمال حضور تیپ *Pteropyrum olivieri* حکایت از آن دارد که حضور این گونه به افزایش ماده آلی خاک واکنش مثبت نشان می‌دهد. افزایش شیب نیز سبب افزایش احتمال حضور این گونه می‌شود و گونه مناطقی تا شیب ۱۵ درصد را ترجیح می‌دهد، ولی با افزایش شیب بیش از این میزان حضور گونه تحت تأثیر عامل شیب قرار نمی‌گیرد و ثابت می‌ماند. این گونه خاک‌هایی با درصد سنگریزه بالا (تا ۶۰ درصد) را می‌پسندد. همچنین با افزایش EC در عمق دوم احتمال حضور این رویشگاه افزایش می‌یابد و در خاک‌هایی با EC برابر با ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر احتمال بالایی از گونه پیش‌بینی می‌شود. اراضی با ارتفاع بین ۱۱۰۰ تا ۱۲۷۰ متر می‌توانند در صورت فراهم بودن سایر عوامل، مناطق مناسبی برای این رویشگاه باشند. منحنی‌های پاسخ مربوط به عوامل مؤثر بر حضور تیپ *Artemisia sieberi* در شکل ۴ آمده است.

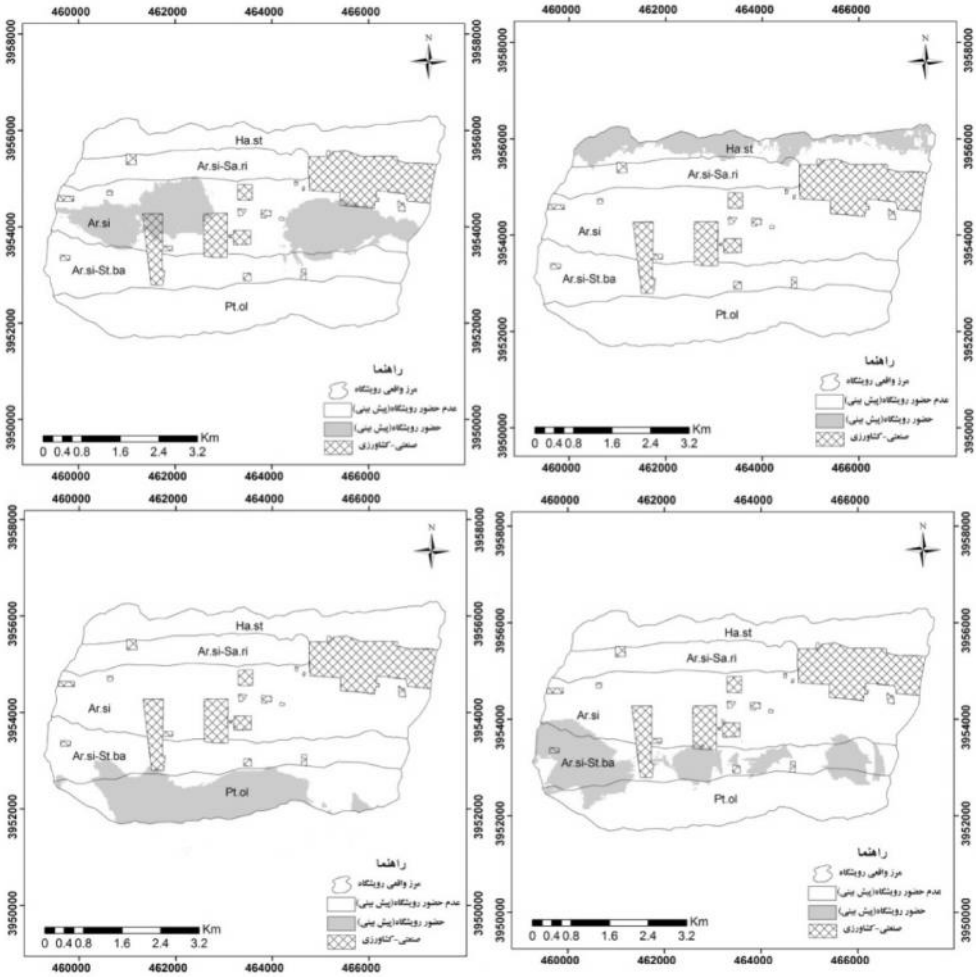


شکل ۴- منحنی‌های پاسخ مهمترین متغیرها برای تیپ *Artemisia sieberi*

پس از اجرای مدل، احتمال حضور ۰/۵ به‌عنوان آستانه حضور در نظر گرفته شد و نقشه پیش‌بینی هریک از تیپ‌ها تهیه شد که این نقشه‌ها به همراه نقشه واقعی پوشش گیاهی در شکل ۵ آورده شده است. میزان تطابق بین نقشه پیش‌بینی و نقشه واقعی تیپ‌ها با استفاده از ضریب کاپا بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- تطابق بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی حاصل از مدل آنتروپی حداکثر با استفاده از ضریب کاپا

تیپ گیاهی	ضریب کاپا	تطابق بین مقادیر پیش‌بینی و واقعی
Artemisia sieberi	۰/۵۷۶	خوب
Artemisia sieberi–Stipa barbata	۰/۶۶۰	خوب
Halocnemum strobilaceum	۰/۶۶۳	خوب
Salsola richteri -Artemisia sieberi	۰/۶۴۵	خوب
Pteropyrum olivieri	۰/۷۰۹	خیلی خوب



شکل ۵- نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی حاصل از روش آنتروپی حداکثر برای تیپ‌های مورد بررسی

بحث

بر اساس ضریب کاپای حاصل از مقایسه نقشه‌ها، میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی و واقعی برای تیپ *Pteropyrum olivieri* در سطح خیلی خوب و برای تیپ‌های *Halocnemum strobilaceum*، *Salsola richteri–Artemisia sieberi*، *Artemisia sieberi* و *Artemisia sieberi–Stipa barbata* در سطح خوب ارزیابی شد. همچنین دقت طبقه‌بندی مدل‌های پیش‌بینی برای تیپ‌های مورد مطالعه بر اساس مقادیر زیر منحنی در سطح خیلی عالی قرار گرفت. نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشان داد از بین عوامل مورد بررسی، پوشش گیاهی بیشتر تحت تأثیر ارتفاع، شیب، بافت، سنگریزه، درصد آهک و ماده آلی قرار دارد. این عوامل بیشترین تأثیر را در پراکنش تیپ‌های گیاهی منطقه دارند، ولی میزان اثر هریک از این متغیرها متفاوت است. اولین نوار پوشش گیاهی در کناره رودشور مربوط به تیپ *Halocnemum strobilaceum* است. برای این رویشگاه، ضریب کاپا نشان‌دهنده تطابق خوب نقشه پیش‌بینی حاصل از روش آنتروپی حداکثر با نقشه واقعی است. این گونه در مطالعات زیادی به‌عنوان مقاوم‌ترین گونه گیاهی به شوری معرفی شده است و در لکه‌های خیلی شور اطراف دریاچه‌های شور تشکیل جوامع خاص یا همراه با گونه‌های دیگر را می‌دهد (Qu *et al.*, 2008; ZareChahouki *et al.*, 2010). در منطقه اشتهارد نیز این گونه در حاشیه رود شور تیپ نسبتاً خالصی را تشکیل داده

است. منحنی‌های پاسخ مربوط به این رویشگاه نسبت به هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که احتمال حضور این گونه در خاک‌هایی که مقدار EC در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر بیش از نه دسی‌زیمنس بر متر باشد و همچنین مناطقی که مقدار EC در عمق ۸۰-۲۰ سانتی‌متر خاک از هشت دسی‌زیمنس بر متر بیشتر باشد، افزایش می‌یابد. در پژوهش ZareChahouki و همکاران (۲۰۱۳)، بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی (۲۰۰-۱۸۰ دسی‌زیمنس بر متر) در منطقه بررسی شده مربوط به محل استقرار این رویشگاه بود. KhalasiAhwazi و همکاران (۲۰۱۱)، نیز خاک‌های دارای املاح زیاد و هدایت الکتریکی بالا را معرف رویشگاه این گونه می‌دانند. عامل آهک باعث به وجود آمدن ساختمان مناسب و ایجاد تغییراتی در اسیدیته خاک می‌شود، ولی اگر درصد آهک بیش از حد افزایش یابد با ایجاد سخت لایه و افزایش میزان اسیدیته و املاح در محدوده ریشه مشکلاتی را برای گیاهان به‌وجود می‌آورد (ZareChahouki, 2010). طبق منحنی‌های پاسخ، این رویشگاه در مناطقی با میزان آهک ۱۲-۱۰ درصد در عمق ۸۰-۲۰ سانتی‌متری خاک بیشترین احتمال حضور را دارد و با افزایش آهک از این میزان، احتمال حضور این رویشگاه کاهش می‌یابد. بعد از این، تیپ *Artemisia sieberi–Salsola richteri* حضور دارد. طبق نتایج به‌دست آمده، حضور این رویشگاه با افزایش سیلت عمق دوم و سنگریزه عمق اول نسبت مستقیم و با میزان هدایت الکتریکی عمق اول نسبت عکس دارد. این رویشگاه در ارتفاعات پایین و مناطق دشتی دیده می‌شود و با افزایش ارتفاع احتمال حضورش کم می‌شود و در ارتفاعات بالاتر از ۱۲۰۰ متر احتمال حضور گونه صفر می‌شود. میزان هدایت الکتریکی بیانگر میزان شوری است. شوری زیاد خاک باعث سمیت و بهم خوردن تعادل یونی می‌شود که روی فعل و انفعالات حیاتی بذر اثر می‌گذارد و باعث جلوگیری از جوانه‌زنی بذر و کاهش احتمال حضور گیاهان می‌شود. در حضور تیپ *Artemisia sieberi*، ارتفاع، سنگریزه، هدایت الکتریکی و اسیدیته از متغیرهای تأثیرگذاراست. با دور شدن از حاشیه رودشور و در نتیجه کاهش شوری و افزایش میزان سنگریزه احتمال حضور این گونه بیشتر می‌شود. Abdollahi و همکاران (۲۰۱۱)، در تحلیل پوشش گیاهی مراتع ندوشن، افزایش شوری خاک را از علل کاهش حضور تیپ *Artemisia sieberi* در ترکیب جوامع گیاهی منطقه می‌دانند. Hosseini و همکاران (۲۰۱۳) نیز با اجرای مدل ماکسنت برای پیش‌بینی حضور این گونه، ارتفاع را از عواملی می‌دانند که حضور این گونه با آن همبستگی دارد. برای تیپ *Artemisia sieberi-Stipa barbata* تحلیل اهمیت متغیرهای وارد شده در مدل آنتروپی حداکثر نشان می‌دهد که ارتفاع، شیب، سنگریزه، هدایت الکتریکی و سیلت بر حضور این رویشگاه تأثیر دارند. منحنی‌های پاسخ به گونه‌ای است که بیان می‌کند افزایش سنگریزه افزایش احتمال حضور این تیپ گیاهی را در پی دارد و با افزایش شیب و ارتفاع و هدایت الکتریکی این احتمال کاهش می‌یابد. برای تیپ *Pteropyrum olivieri* میزان تطابق حاصل از نقشه واقعی و نقشه حاصل از مدل آنتروپی حداکثر خیلی خوب ارزیابی شده است. طبق نتایج حضور این گونه با عوامل ارتفاع و شیب نسبت عکس و با ماده آلی نسبت مستقیم دارد. میزان شیب به دلیل تأثیر در عمق، بافت و ظرفیت نگهداری خاک در پراکنش گیاهان تأثیر می‌گذارد. این گونه احتمال حضور بالایی در اراضی با میزان سنگریزه خاک تا ۶۰ درصد دارد، ولی با افزایش سنگریزه از میزان احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. تحقیقات بسیاری اثرات مثبت میزان سنگریزه سطحی بر پوشش گیاهی چوبی مناطق خشک را نشان دادند (Abd El-Ghani & Amer, 2003; Mostafa & Zaghloul, 1996).

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت با توجه به میزان تطابق بالای نقشه‌های پیش‌بینی با نقشه‌های واقعی پراکنش گونه‌ها در این مطالعه، روش آنتروپی حداکثر می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب در تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه‌های گیاهی مورداستفاده قرار گیرد. پژوهشگران بسیاری نیز کارایی MaxEnt را به‌عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی پراکنش در مقایسه با سایر روش‌ها خوب ارزیابی کردند

Elith *et al*.,2006; Pearson *et al*.,2007; Mbatudde *et al*., 2012; Yang *et al*., 2013). برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حتی در مواقعی که نمونه‌ها هم کم است، عملکرد پیش‌بینی روش آنتروپی حداکثر می‌تواند با روش‌هایی که بالاترین دقت پیش‌بینی را دارند، رقابت کند و نتایج قابل قبولی را ارائه دهد (Peterson & Shaw, 2003; Elith *et al*., 2006;Vessella & Schirone, 2013). نتایج حاصل از مدل‌سازی تیپ‌های گیاهی با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر می‌تواند در اقدامات مدیریتی برای پیشنهاد گونه‌هایی متناسب با شرایط خاک و توپوگرافی مختلف در برنامه‌های احیایی مرتع استفاده شود. همچنین نقشه‌های پیش‌بینی تهیه شده می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای تشخیص مناطقی که قابلیت رویش گیاهان باارزش یا گیاهان در حال انقراض را دارند، بکار برده شود.

منابع مورد استفاده

– Abdollahi J. and Naderi, H., 2011. Soil and topographical variation influencing the growing factors of *Artemisia sieberi* in steppic rangeland, Nodoushan-Yazd. Watershed Management Research (Pajouhesh&Sazandegi), 97: 52-62.

– Abd El-Ghani, M. M. and Amer, W. M., 2003. Soil-Vegetation Relationships in a Coastal Desert Plain of Soutern Sinai, Egypt. Journal of Arid Environments, 55: 607-628.

– Baldvin, R. A., 2009. Use of Maximum Entropy in Wildlife Research. Journal of Entropy, 1: 854-866.

– Evangelista, Ph., Kumar, S., Stohlgren, T. J., Jarnevich, C. S., Crall, A. W., Norman, J. B. and Barnett, DT., 2008. Modelling invasion for a habitat generalist and a specialist plant species. Journal of Divers Distributions, 14:808-817.

– Elith, J., Graham, C. H. and Anderson, R.P., 2006. Novel methods improve prediction of species’distributions from occurrence data. Journal of Ecography. 29: 129- 151.

– Hosseini, S. Z., Kappas, M., ZareChahouki, M. A., Gerold, G., Erasmia, S. and RafieiEmama, A., 2013. Modelling potential habitats for Artemisia sieberi and Artemisia aucheri in Poshtkouh area, central Iran using the maximum entropy model and geostatistics, Journal of Ecological Informatics, 18: 61-68.

– KhalasiAhwazi, L., ZareChahouki, M. A., Azarnivand, H. and SoltaniGardFaramarzi, M., 2011. Desirable habitat modeling of Eurotiaceratoides (L.) CAM Using ecological niche factor analysis (ENFA) in North East Semnan ranges. Journal of Range Management, 4: 373-362.

– Mbatudde, M., Mwanjololo, M., KyomugishaKakudidi, E. and Dalitz, H., 2012. Modelling the potential distribution of endangered Prunusafricana(Hook.f.)Kalkm in East Africa. African Journal Ecology, 50: 393–403.

– Mostafa, A. and Zaghloul, M., 1996. Environment and Vegetation in the Montane Saint Catherine. Journal of Arid Environment, 34: 331-349.

– Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. and Peterson, A.T., 2007. Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. Journal of Biogeography, 34: 102- 117.

– Peterson, A.T. and Shaw, J., 2003. Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distribution, and climate change effects. Int. Journal of Parasitol, 33: 919-931.

– Qu, X. X., Huang, Z. Y., Baskin, J. M. and Baskin, C.C., 2008. Effect of Temperature, Light and salinity on seed and Germination and Radicle Growth of the geographically widespread Halophyte shrub *Halocnemum strobilaceum*, Annals of botany, 101(2): 293-299.

– Vessella, F. and Schirone, B., 2013. Predicting potential distribution of Quercussuber in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements Forest Ecology and Management: 304, 150–161.

– Yang, X. Q., Kushwaha, S. P. S., Saran. S., Xu, J. and Roy, P. S., 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, Justicia adhatoda L. in Lesser Himalayan foothills. Journal of Ecological Engineering, 51: 83–87.

– ZareChahouki, M. A., Azarnivand, H., Jafari, M. and Tavili, A., 2010. Multivariate Statistical Methods as a Tool for Model-Based Prediction of Vegetation Types, Russian Journal of Ecology, 41(1): 84-94.

– ZareChahouki, M. A., PirySahragard, H. and Azarnivand, H., 2013. Habitat distribution modeling of some halophyte plant species using Maximum Entropy Method (Maxent) in HozeSoltan rangelands of Qum Province. Journal of Rangeland, 7(3): 212-221.

– ZareChahouki, M. A. and Esfanjani, J., 2015. Predicting potential distribution of plant species by modeling techniques in southern rangelands of Golestan, Iran. Journal of Range Management and Agroforestry, 36(1): 66-71.

Habitat distribution modeling of plant species using Maximum Entropy Method (Case study:Rangelands of Eshtehard)

M. A. Zare Chahouki[1]*, N. Nasseri Hesari[2] and M. Jafari[3]

1*- Corresponding author, Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: mazare@ut.ac.ir
1-Former M.Sc. in Range Management, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received:4/23/2016 Accepted:3/13/2017

Abstract

The study was performed with the aim of modeling the distribution habitats of Eshtehard rangelands using Maximum Entropy Method and determining the factors affecting each habitat. Vegetation and environmental data including soil characteristics and topography were collected. The initial map was prepared based on slope, elevation and direction maps and satellite images. At each site, three transects with a length of 750 m were established, two transects along the most important environmental gradients and one transect perpendicular to them. A number of 45 plots along each transect was placed at a distance of 50 meters. The size of plot sampling was determined to be two square meters according to the type and distribution of plant species with minimal area method. Soil profiles were dug at the beginning and end of each transect. Sampling was done from the depths of 0-20 cm and 20-80 cm. The list of species and the percentage of vegetation in each plot were determined. For each sampling unit, the latitude and longitude data, slope, direction, and elevation were also determined. Then the desired characteristics were measured in the laboratory. GIS and Geostatistics methods were used to map the environmental variables. The species distribution models were produced using the species presence data and Maximum Entropy Method (Maxent). The Kappa coefficient index and the area under the curve (AUC) were used to evaluate the accuracy of the distribution maps. The agreements of actual and predicted maps for *Pteropyrum olivieri* was well (K=0/7) and it was acceptable for Halocnemum strobilaceum, *Salsola richteri-Artemisia sieberi*, *Artemisia sieberi*, *Artemisia sieberi–Stipa barbata* (K=0/66, 0/64, 0/57, 0/66).

Keywords: Maxent, habitat distribution model, rangelands of Eshtehard, Kappa coefficient.