

پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی جنس کما (*Ferula spp.*) با استفاده از مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه (مطالعه موردی: خراسان رضوی و شمالی)

چکیده

کما یکی از مهم‌ترین جنس گیاهان خودروی مرتعی در منطقه شمال شرق ایران به شمار می‌رود و اهمیت زیادی در حفاظت خاک و تامین معیشت بهره‌برداران مراتع دارد. با این وجود بهره‌برداری نادرست و تخریب زیستگاه‌های آن از جمله عوامل تهدیدکننده این سرمایه طبیعی است. این پژوهش به منظور شناسایی رویشگاه‌های بالقوه این جنس در دو استان خراسان رضوی و خراسان شمالی انجام شده است که می‌تواند گامی جهت تسهیل و توسعه عملیات باز کاشت و احیاء این جنس به حساب آید. داده‌های مکانی حضور این جنس با اندازه پیکسل ۱۱۰۰×۱۱۰۰ متر به عنوان مکان‌های مناسب بالفعل برای رویش آن و لایه‌های اطلاعات محیطی از قبیل اقلیم، خاک، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی به عنوان متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا در نرم‌افزار بیومپر نسخه ۴ همبستگی متغیرهای پیش‌بینی بررسی و متغیرهای مستقل مهم انتخاب شدند. سپس نقشه رویشگاه بالقوه حاصل از مدل پراکنش با استفاده از نرم‌افزار Maxent 3.3 تهیه شد. نتایج نشان داد مدل به کار گرفته شده از دقت مناسب برخوردار بوده و به مقدار AUC برابر ۰/۹۴ دست یافته است. از نظر میزان اهمیت، بررسی متغیرهای ورودی به مدل با استفاده از آزمون جک‌نایف، نشان داد که به ترتیب، متغیرهای شیب، زمین‌شناسی، اجزاء واحد اراضی، مدل رقومی ارتفاع و میانگین دمای سالانه در مناسب بودن رویشگاه بالقوه جنس کما در سطح منطقه مورد مطالعه، بیش‌ترین اهمیت را دارند. نتایج این مطالعه می‌تواند در شناخت نیازهای اکولوژیک گونه مورد بررسی و توسعه و احیاء رویشگاه‌های آن به کار رود.

واژگان کلیدی: اقلیم، حداکثر آنتروپی، خاک، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی.

مقاله پژوهشی

جواد مومنی‌دمنه^۱
momenyjavad@yahoo.com

یحیی اسماعیل‌پور^{۲*}
y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir
* نویسنده مسئول

حمید غلامی^۳
hadesert64@gmail.com

آریتا فراشی^۴
farashi@um.ac.ir

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۴. دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

شناسه مقاله: ۲۱۰۷-۱۰۱۱
شماره صفحه پیاپی: ۹۲-۱۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷
انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰
زمان پذیرش: ۵۶ روز

استناددهی:

مومنی‌دمنه، ج، اسماعیل‌پور، ی، غلامی، ح، و فراشی، آ. (۱۴۰۱). پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی جنس کما (*Ferula spp.*) با استفاده از مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه (مطالعه موردی: خراسان رضوی و شمالی). مدیریت اکوسیستم، ۱(۲)، ۲۵-۳۵.

۱- مقدمه

پراکنش گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌ها تصادفی نبوده و از عوامل محیطی مانند اقلیم، فیزیوگرافی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عوامل انسانی پیروی می‌کند. مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه، محدوده توزیع و زیستگاه گونه‌ها را پیش‌بینی می‌کنند و می‌توانند به عنوان ابزار مناسبی برای اهداف حفاظتی و مدیریتی بکار روند. امروزه نقشه‌سازی پراکنش گونه‌ها با استفاده از روش‌های همبستگی آمار مکانی و مدل‌های توزیع گونه‌ای از زمینه‌های مهم تحقیقات اکولوژیک و جغرافیای گیاهی هستند (Hirzel et al., 2002; Boyce, 2006). از جمله روش‌های متداول برای مدل‌سازی توزیع گونه‌ای استفاده الگوریتم بیشینه آنتروپی است. الگوریتم بیشینه آنتروپی نوعی رویه مدل‌سازی بر اساس نقاط صرفاً حضور است که در مقایسه با سایر روش‌های مدل‌سازی عملکرد بهتری در پیش‌بینی حضور گونه‌ها دارد (Phillips et al., 2006). پوشش گیاهی از شاخص‌های زیستی بوم‌سازگان‌ها و یکی از معیارهای مهم تنوع زیستی است که حفظ آن، مستلزم شناخت گونه، ارتباط گونه با متغیرهای رویشگاهی است. عدم شناخت کافی پوشش گیاهی و اهمیت آن در حفظ تنوع زیستی و تأثیرات متقابل‌شان بر محیط، موجب شده تا در برخی از مناطق، گونه‌های گیاهی و رویشگاه از بین رفته و حتی در مناطق تحت مدیریت بسیاری از گونه‌ها در معرض خطر قرار گیرد. در دو دهه گذشته، برای تعیین زیستگاه بالقوه گونه‌های گیاهی و جانوری تحقیقات زیادی صورت گرفته و مدل‌های مختلفی توسعه یافته است. هدف از ایجاد این مدل‌ها شناخت و در نهایت مدیریت زیستگاه‌ها به عنوان یک سامانه است (شمس اسفندآباد، ۱۳۸۹). در این مدل‌ها متغیر پاسخ معمولاً حضور/غیاب و یا تنها حضور گونه و متغیرهای پیش‌بینی کننده عمدتاً متغیرهای محیطی در نظر گرفته می‌شود و احتمال رخداد گونه مورد نظر در سایر مکان‌ها تعیین می‌گردد (Zare Chahouki et al., 2010; زارع چاهوکی و عباسی، ۱۳۹۵).

از جمله این تحقیقات می‌توان به پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته به ارزیابی توان تولیدی رویشگاه راش شرقی در جنگل دانشگاه تربیت مدرس در شهرستان نور استان مازندران پرداختند. منطقه تحقیق در سری ۳ آغوزچال از طرح جنگلداری حوزه ۴۶ کجور در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب مهم‌ترین عوامل در تغییرات در توان تولید راش به شمار می‌روند. نتایج حاصل از روش رگرسیون لجستیک بر روی گونه بادامک در مراتع موشکیه استان قم نشان داد نوع سازند زمین‌شناسی و مقدار سنگریزه عمق اول خاک، مهم‌ترین عوامل برای حضور این گونه در رویشگاه مورد مطالعه می‌باشد (پیری صحراگرد و همکاران، ۱۳۹۵). در جنوب سوئیس اطلاعات مربوط به ۱۱۷ گونه گیاهی مرتعی را در ۱۲۵ واحد نمونه‌برداری جمع‌آوری کردند که در هر واحد عوامل ارتفاع، شیب و جهت نیز مطالعه گردید. نتایج پژوهش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک نشان داد که پارامترهای شیب و جهت بیشترین همبستگی را با گونه‌های گیاهی داشتند (Lassueur et al., 2006). درصد شیب، جهت دامنه‌ها و ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیرهای فیزیوگرافی هستند که به طور متداول در اندازه‌گیری‌ها و مدل‌سازی وقوع مکانی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شوند (Liprieur et al., 1988). زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۹۲) در مراتع حوض سلطان استان قم دامنه تحمل گونه‌های گیاهی نسبت به عوامل محیطی و پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی را با MaxEnt بررسی کردند. مهم‌ترین عوامل محیطی تفکیک کننده رویشگاه گونه‌ها متغیرهای هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، آهک، اسیدیته و بافت خاک تعیین شد و میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی با نقشه‌های واقعی برای گونه‌های *Tamarix passerinoides* و *Seidlitzia rosmarinus* در سطح متوسط و برای گونه‌های *Halocnemum strobilaceum* و *Artemisia sieberi* را در سطح خیلی خوب ارزیابی نمودند. کاربرد همین روش در تعیین زیستگاه بالقوه گونه گیاهی ارمنک (*Ephedra strobilacea*) در مراتع پشتکوه استان یزد نیز عامل گنج را به عنوان فاکتور تأثیرگذار در ترجیح زیستگاه گونه ارمنک تایید کرد و متغیرهای تأثیرگذار بعدی در حضور این گونه آهک و شن، کلسیم، هدایت الکتریکی خاک و شیب کم زمین تعیین شدند. دقت مدل بر اساس شاخص مقدار سطح زیر منحنی $AUC=0.98$ در رتبه خوب ارزیابی شد (زارع چاهوکی و عباسی، ۱۳۹۵). تجربیات متعدد دیگری نیز برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های گیاهی مختلف با استفاده از MaxEnt قابل ذکر است. در این خصوص تعیین خصوصیات خاک، عوامل اقلیمی (دما و بارندگی) و همچنین ارتفاع از سطح دریا به عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش پسته وحشی (*Pistacia vera*) توسط ضرابی و همکاران، (۱۳۹۶)؛ مقایسه‌ی مدل‌های رگرسیون لجستیک و آنالیز تشخیص با MaxEnt در مطالعه پراکنش جغرافیایی گونه‌های *Artemisia aucheri* و *Artemisia sieberi* و گزارش برتری مدل‌های مبتنی بر داده‌های حضور از قبیل MaxEnt و ENFA توسط خلاصی اهوازی و همکاران (۱۳۹۴)؛ گزارش تشابه نتایج MaxEnt و ENFA در مدل‌سازی برخی گونه‌های گیاهی چوبی (Silva et al., 2014)؛ اعلام پیش‌بینی دقیق‌تر MaxEnt در مقایسه با GARP در پیش‌بینی توزیع گونه کائوچو (*Hevea brasiliensis*) در هندوستان (Ray et al., 2017)؛ مطالعه توزیع گونه‌ای با MaxEnt در اراضی مرطوب و دستیابی به دقت قابل قبول (Raney and Leopold, 2018)؛ ارزیابی و گزارش دقت مناسب MaxEnt در بررسی پراکنش گونه‌های *Lolium arundinaceum* و *Albizia julibrissin* در مناطق کوهستانی آلاباما (Lemke et al., 2011) از جمله مهم‌ترین مطالعات مرتبط است.

تعیین عوامل تأثیر گذار در انتشار گونه *Festuca ovina* با استفاده از روش آنتروپی حداکثر (گرادیان ارتفاعی در مراتع مغان- سیلان استان اردبیل) (غفاری و همکاران، ۱۳۹۹)؛ کاربرد مدل جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در برآورد پراکنش رویشگاه بالقوه گونه‌های مرتعی (مراتع

خضری دشت بیاض در خراسان جنوبی) (کیقبادی و همکاران، ۱۳۹۹)؛ مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه‌های *Artemisia fragrans* و *Artemisia chamaemelifolia* در گرادیان ارتفاعی قزل‌اوزن - آق‌داغ خلخال (مولایی شام‌اسبی و همکاران، ۱۳۹۹). در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت جنس کما با تأکید بر مطلوبیت زیستگاه گونه‌های آنغوزه و باریجه در رویشگاه‌های شمال شرق کشور با استفاده از روش MaxEnt مورد مطالعه قرار گرفت که از نظر روش، وسعت منطقه مورد مطالعه و متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده نخستین مورد مطالعه بر روی جنس یاد شده است. نتایج این مطالعه پیرامون شرایط محیطی حاکم در مناطق حضور جنس کما شناخت بهتری از نیازهای اکولوژیک گونه بدست می‌دهد که می‌تواند در طرح‌های احتمالی توسعه و احیاء رویشگاه‌های آن به کار گرفته شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق ایران با ارتفاع متوسط ۱۲۴۷ متر و حداکثر ارتفاع ۳۲۵۹ متر از سطح دریا، کل رویشگاه‌های مرتعی استان‌های خراسان رضوی و شمالی در پهنه‌ای با مساحت ۱۴۴۶۵۹/۵۲ کیلومتر مربع ($X=888341-398373$ و $Y=4227091-3752654$) را شامل است. اقلیم منطقه از خشک تا نیمه‌خشک متغیر است. دمای هوای استان از شمال به طرف جنوب افزایش می‌یابد. کمینه دمای منطقه در دی‌ماه و برابر ۲۴/۵، بیشینه دما در تیرماه و برابر ۴۷/۶ و میانگین دمای آن برابر ۱۵/۷۷ درجه سلسیوس است. میانگین بلندمدت بارش منطقه برابر ۲۸۰ میلی‌متر در سال است (شکل ۱).

جنس کما *Ferula sp.* در ایران نزدیک به ۳۳ گونه دارد که همگی با داشتن برگ‌های مرکب با بریدگی‌های زیاد و قطعات بزرگ یا بسیار کوچک به شکل‌های گوناگون، مستطیلی، خطی، خطی-سرنیزه‌ای و غلاف مشخص دمبرگی و گل آذین با گل‌های بارور و عقیم به رنگ زرد تا سفید و بوی عطر اغلب دلنشین تا بدبو شناخته می‌شوند. همگی آنها کم و بیش شیرابه دارند، اما تعدادی از آنها شیرابه‌ای بارزتر و بیشتر دارند که در مناطق مختلف مربوط به رویشگاه آنها توسط مردم محلی برداشت می‌شوند و با نام‌های باریجه، آنغوزه، قاسنی، سکینج، آنغوزه تلخ و آنغوزه شیرین شناخته می‌شوند. تحقیقات نشان داده است که بیشتر این شیرابه‌ها به مصرف صادرات می‌رسند و ترکیبات تبدیل شده قابل مصرف آنها مجدداً به ایران برمی‌گردد. در ضمن به مقدار بسیار کم و ناچیز نیز در طب سنتی ایران از آنها به عنوان کرم‌کش و تقویت‌کننده دستگاه گوارش استفاده می‌کنند. امروزه میزان برداشت شیرابه‌ها با توجه به مسائل اقتصادی و اجتماعی و افزایش جمعیت مصرف‌کننده رو به کاهش گذاشته است. در اینجا برای آگاهی بیشتر نام‌های علمی گونه‌های مختلف *Ferula spp.* ارائه می‌شود (مظفریان، ۱۳۹۱). با تأکید بر حضور دو گونه آنغوزه (*Ferula Assa-foetida*) و باریجه (*Ferulan gumosa*) که در ذیل مختصری توضیح داده خواهد شد مدل‌سازی صورت گرفته است. آنغوزه گیاهی است علفی و چندساله از تیره چتریان^۱ با ارتفاع تا ۱۵۰ سانتی‌متر و در مناطق کوهستانی استان‌های اصفهان، یزد، هرمزگان و خراسان می‌روید (مظفریان، ۱۳۹۱). باریجه با نام علمی *Ferulan gumosa* از تیره چتریان است. این گیاه چندساله، یک بار مثمر، خاکستری رنگ، با یقه‌ای پوشیده از تارهای رشته‌ای، ساقه تا ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر، ضخیم، کم‌رنگ، لوله‌ای، با قاعده‌ای به ضخامت ۱۳ تا ۱۷ میلی‌متر، برگ‌های قاعده‌ای به طول ۱۵ تا ۳۰، به عرض ۵ تا ۸ سانتی‌متر، ۴ بار شانه‌ای، تقریباً ساقه آغوش، متورم، خوشه مترکم می‌باشد. پراکندگی جهانی آن در ایران، آسیای مرکزی و افغانستان بوده و در ایران این گونه گیاهی با ارزش علفی و صنعتی در نقاط کوهستانی و مرتفع استان‌های مازندران، زنجان، خراسان، تهران و اراک می‌روید. این گونه گیاهی همچنین در نقاط مختلف استان‌های اصفهان، یزد، هرمزگان و خراسان دیده می‌شود (مظفریان، ۱۳۹۱).

۲-۲- روش پژوهش

مدل حداکثر آنتروپی^۲ یا MaxEnt، روش یادگیری ماشینی بر اساس حداکثر بی‌نظمی می‌باشد. این روش احتمال پراکندگی حضور یک گونه را با توجه به محدودیت‌های به دست آمده از داده‌های موجود بررسی می‌کند (Phillips et al., 2006). این روش مزایای بسیاری دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به توانایی مورد استفاده قرار دادن داده‌های پیوسته و گسسته، نمایش دادن منحنی‌های عکس‌العمل^۳ و کاربرد ساده این نرم‌افزار اشاره کرد (Thorn et al., 2009). از طرفی، نسبت به مدل‌های دیگر نظیر GARP و ENFA، به همبستگی بین متغیرهای محیطی، حساسیت کمتری دارد (Phillips et al., 2009). در این مطالعه مدل‌سازی زیستگاه جنس کما با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt انجام پذیرفت، تعداد ۱۵ تکرار و تعداد ۱۰۰۰ اجرا برای مدل در نظر گرفته شد. برای ارزیابی نتایج مدل از رویکرد Cross validate و داده‌های test به صورت تصادفی استفاده شد. تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه از نقاط پس‌زمینه به عنوان نقاط عدم حضور (عدم حضور کاذب) و باقی تنظیمات نرم‌افزار در حالت اولیه خود باقی ماندند. با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه، ابتدا محدوده‌های کلی حضور جنس کما در مراتع استان خراسان رضوی و شمالی از بهره‌برداران گیاهان دارویی، مردم بومی و اداره منابع طبیعی و آبخیزداری سوال شد. سپس نمونه‌برداری نقاط حضور گونه، با بازدیدهای میدانی از مناطق معرفی شده صورت پذیرفت که در مجموع ۲۸۰۰

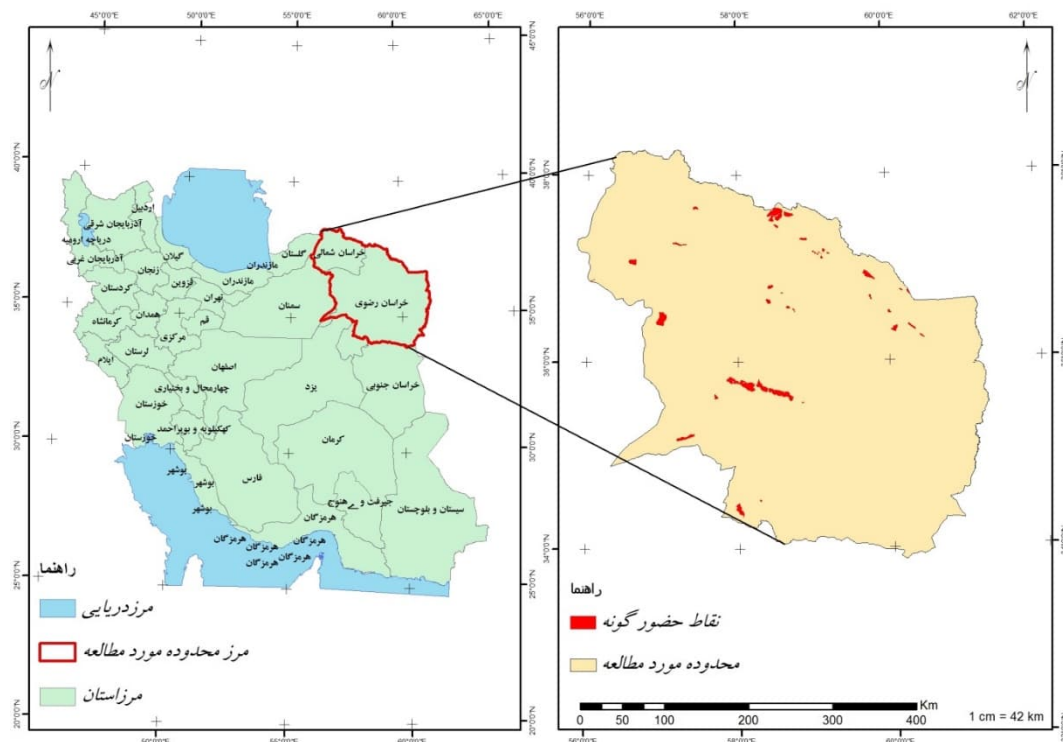
1. Universal Transverse Mercator (UTM)

2. Apiaceae

3. Maximum Entropy

4. Response Curves

نقطه حضور از ۴۸ منطقه در دوره زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ طی فصل بهار با استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی^۱ به عنوان نقاط حضور ثبت گردید (شکل ۱). سپس به منظور جلوگیری از خودهمبستگی مکانی و کاهش خطای نمونه برداری محدوده‌های مفید در نرم افزار ArcGIS 10.3 به شبکه‌های ۱۱۰۰×۱۱۰۰ متر تبدیل شدند و از هر سلول یک نقطه حضور بدست آمد. از ۲۹ متغیر محیطی اولیه با تعیین همبستگی پیرسون بین آنها در نرم‌افزار بایومپر در نهایت داده‌هایی که کمتر از ۷۰ درصد همبستگی داشتند که ۱۸ متغیر محیطی، که شامل متغیرهای توپوگرافی، متغیرهای اقلیمی و متغیرهای انسان ساخت برای تولید مدل زیستگاه مورد بررسی بهره گرفته شد. این متغیرها شامل نقشه‌های پوشش زمین/کاربری زمین، مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب، جهت شیب، آبراهه و رودخانه از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری ایران استفاده شد. متغیرهای اقلیمی نیز از بانک داده WorldClim تهیه شدند. نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران و نقشه خاک‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برگرفته از اطلاعات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان تهیه شد. از آنجاکه همه لایه‌های اطلاعات ورودی مدل باید زمین مرجع، سیستم مختصات و مقیاس یکسان داشته باشند آماده‌سازی و پردازش اولیه لایه‌های اطلاعاتی با بهره‌گیری از نرم‌افزار Idrisi Selva انجام شد (جدول ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه و پراکنش نقاط حضور جنس

جدول (۱): فهرست متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه جنس کما

نمایه متغیر	توصیف اقلیمی	نمایه متغیر	نمایه متغیر
Bio1	میانگین دمای سالیانه	Bio2	میانگین دامنه دمای روزانه
Bio4	تغییرات فصلی دما	Bio8	میانگین دمای پربارش‌ترین سه ماه متوالی سال
Bio12	جمع بارندگی سالیانه	Bio15	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)
Bio17	جمع بارندگی کم بارش‌ترین سه ماه متوالی سال	Bio19	جمع بارندگی سردترین سه ماه متوالی سال
Dem	ارتفاع از سطح دریا	Slop	درصد شیب
River	آبراهه	Stream	رودخانه
Aspect	جهت شیب (۸ طبقه جهت شیب + مسطح)	Soil Hidro	گروه‌های هیدرولوژیک خاک (شامل طبقات چهارگانه گروه‌های هیدرولوژیک A, B, C و D)
Soiland	اجزاء واحد اراضی (شامل ۴۷ طبقه)	Soilostan	بافت خاک (شامل ۵ طبقه نوع خاک)
Landus	کاربری اراضی (شامل ۲۶ طبقه کاربری)	Geology	زمین‌شناسی (شامل ۶۲۶ طبقه سازندهای زمین‌شناسی)

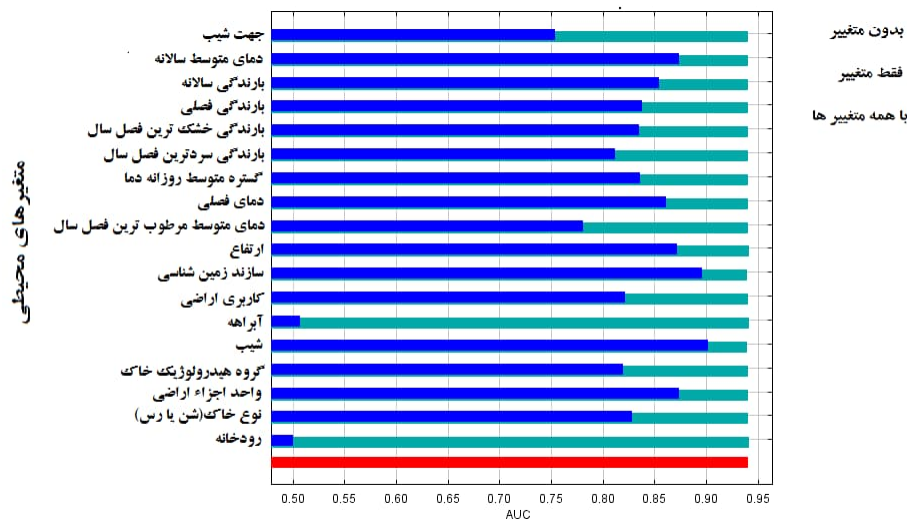
1. Global Positioning System (GPS)

2. www.worldclim.org/current

مدل بدست آمده از طریق یک خروجی به نام سطح زیر منحنی^۱ ارزیابی می‌شود که هر چه به یک نزدیک‌تر شود نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل است (Elith et al., 2011). به طور کلی، شاخص سطح زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. مقادیر بیش از ۰/۵ مدل‌هایی را توصیف می‌کند که عملکرد آنها بسیار نامناسب است. زمانی که این شاخص برابر ۰/۵ باشد همانند قبل مدل‌سازی نامناسب می‌باشد. در صورتی که شاخص زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۰/۶ باشد مدل عملکرد بسیار ضعیف، و زمانی که بین ۰/۶ تا ۰/۷ بوده عملکرد مدل ضعیف می‌باشد. مقادیر بین ۰/۷ تا ۰/۸ عملکرد متوسط مدل، مقادیر بین ۰/۸ تا ۰/۹ عملکرد خوب مدل خوب و در نهایت مقادیر بین ۰/۹ تا ۱ عملکرد بسیار عالی مدل را نشان می‌دهد (Yi et al., 2016؛ رادنژاد و همکاران، ۱۳۹۵). سهم و وزن هر یک از متغیرها در اثرگذاری بر پراکنش جغرافیایی جنس با بهره‌گیری از نتایج آزمون جک‌نایف و منحنی‌های عکس‌العمل مشخص شد. آزمون جک‌نایف اهمیت هر یک از متغیرهای محیطی را بیان می‌کند و همچنین مشخص می‌نماید که اگر یک متغیر محیطی حذف شود و یا به‌تنهایی در مدل حضور داشته باشد، چه تأثیری بر کارایی مدل می‌گذارد (مروتی و همکاران، ۱۳۹۳). در نهایت منطقه تحقیق از نظر پتانسیل زیستگاهی برای جنس کما به چهار کلاس کیفی؛ نامناسب، پتانسیل کم، پتانسیل متوسط و کاملاً مناسب تقسیم و مساحت هر طبقه روی نقشه محاسبه و ارایه شد (Ghareghan et al., 2020).

۳- نتایج

نتایج شاخص سطح زیر منحنی که از منحنی راک (منحنی مشخصه عملکرد)^۲ به دست آمد در ارزیابی مدل نشان داد $AUC=0.94$ داده‌ها و روش مورد استفاده به تولید مدل با کارایی مناسب انجامیده است. نتایج آزمون جک‌نایف، حاکی از آن است که به ترتیب، پنج متغیر شیب، زمین‌شناسی، اجزاء واحد اراضی، ارتفاع از سطح دریا و میانگین دمای سالانه در مناسب بودن زیستگاه بالقوه کما در سطح منطقه مورد مطالعه، بیش‌ترین اهمیت را داشتند (شکل ۲).



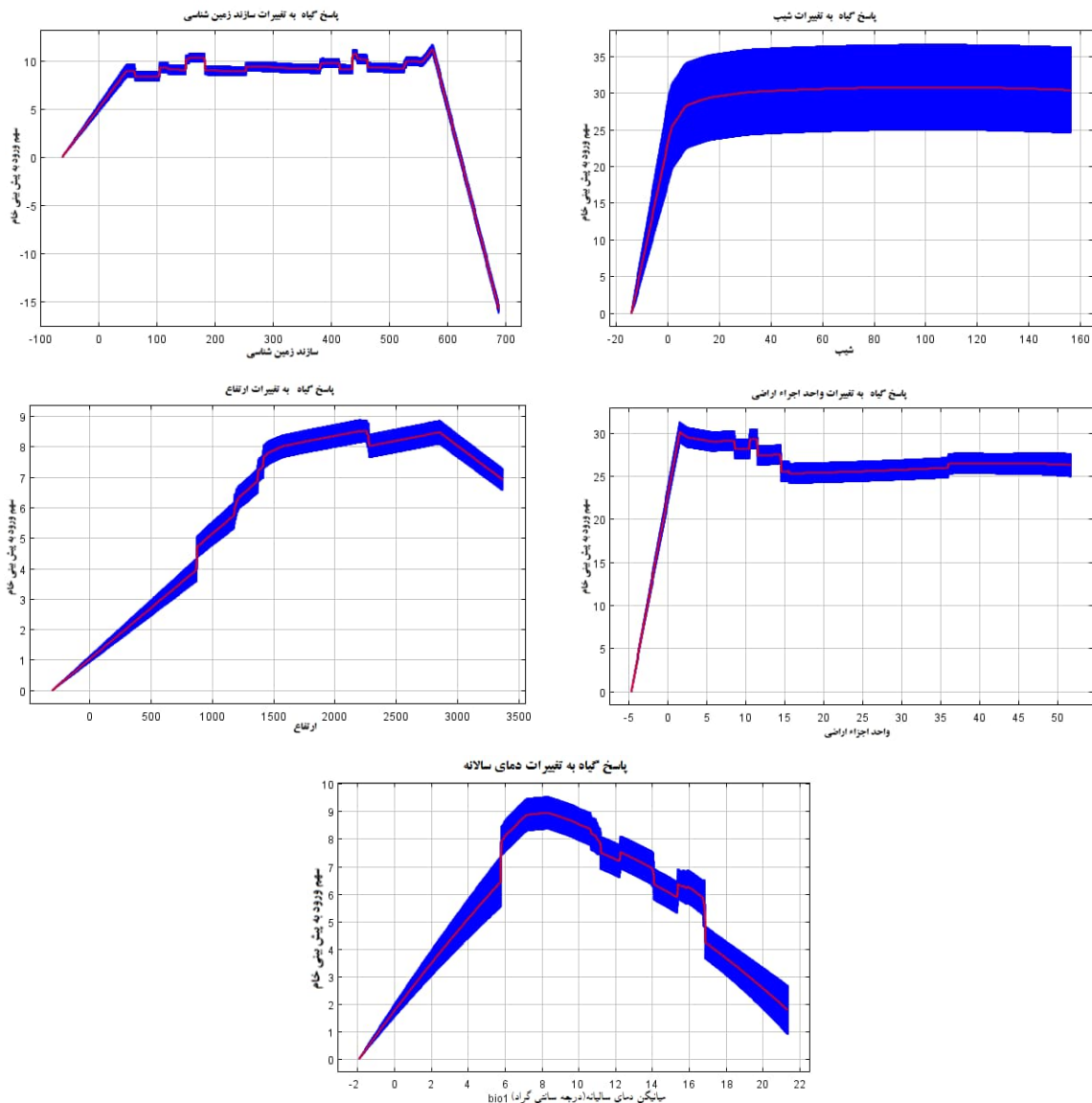
شکل (۲): نتایج آزمون جک‌نایف *Ferula spp.*

منحنی‌های پاسخ گونه در برابر تغییرات متغیرهای پیش‌بینی برای پنج متغیر با بیشترین اهمیت در (شکل ۳) آورده شده‌اند. بررسی و تحلیل نمودارهای پاسخ *Ferula spp.* به متغیرهای اجزاء واحدهای اراضی و زمین‌شناسی و شیب در مجموع نشان‌دهنده وابستگی به مناطق شیب‌دار و عدم ترجیح مناطق هموار و بدون پستی و بلندی است. به طوری که واحدهای اراضی متشکل از تپه‌های کم ارتفاع تا نسبتاً مرتفع و کوهستانی نسبتاً مرتفع تا مرتفع، فرسایش یافته با دره‌های عمیق و پرشمار از شانس بیشتری برای میزبانی برخوردارند. از نظر زمین‌شناسی احتمال حضور جنس *Ferula* در سنگ‌های آهک‌دار اعم از سنگ‌های آهکی سخت و دولومیتی و ماسه‌سنگ و شیل و مارن بیشتر بوده و در مراتب بعدی و البته همچنان به میزان قابل توجهی در سنگ‌های آذرین و دگرگونی نیز یافت می‌شود. در مورد پاسخ به تغییرات ارتفاع حضور جنس *Ferula* پس از بالا رفتن از ارتفاع حدود ۹۰۰ متر از سطح دریا به شدت تقویت می‌شود و این روند تا ارتفاع ۱۵۰۰ متر ادامه دارد. از ارتفاع ۱۵۰۰ تا حدود ۲۲۰۰ متری بهترین شرایط برای حضور جنس *Ferula* مهیا بوده و از ۲۲۰۰ متری به بالا با کاهش یک‌باره روبرو می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده محدوده ارتفاعی مطلوب این جنس باشد. از میان متغیرهای اقلیمی متغیر دمای متوسط سالانه یکی از متغیرهای مهم بوده است. نمودار پاسخ جنس *Ferula* به این متغیر حاکی از

1. Area under the receiver operating characteristic curve (AUC)

2. Receiver Operating Characteristic (ROC)

وابستگی جنس *Ferula* به شدت تغییرات دما در منطقه رویشی است به صورتی که از بین طیف نقاط با اختلاف دمای سالانه ناچیز تا بسیار زیاد مناطق با نزدیک به متوسط اختلاف دما را انتخاب کرده است.

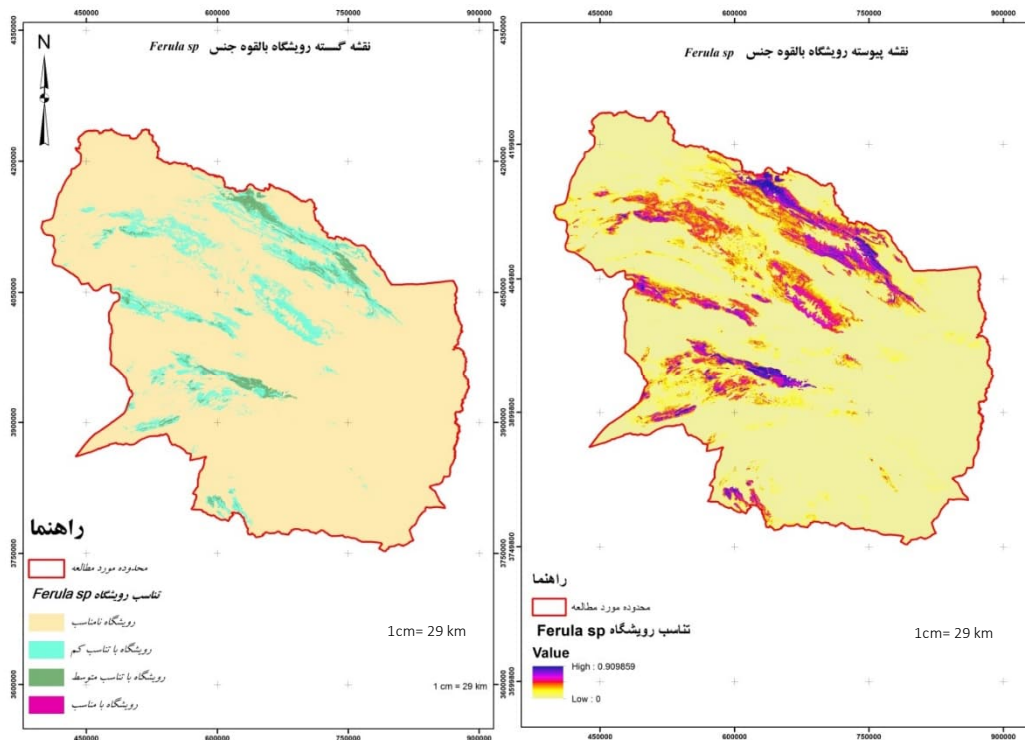


شکل (۳): منحنی های عکس العمل مهمترین متغیرهای محیطی برای زیستگاه بالقوه *Ferula spp.*

مدل بدست آمده در آخرین گام همه پیکسل های منطقه مورد مطالعه را با مقادیر صفر تا صد به ترتیب برای کمترین و بیشترین احتمال حضور *Ferula spp.* ارزش گذاری می کند که در شکل ۴ نشان داده شده است. این نقشه در نرم افزار ArcGIS10.3 با استفاده از روش natural breaks یا الگوریتم Jenks طبقه بندی و به چهار طبقه رویشگاه نامناسب، تناسب کم، تناسب متوسط و تناسب خوب زون بندی شد. نتایج این بخش نشان داد بیش از ۲۸۵ هزار هکتار معادل ۱/۹۷ درصد از مناطق مورد بررسی پتانسیل متوسط تا خوب برای رویش و بهره برداری از *Ferula spp.* داشته و بیش از ۱۲۱۰۹۱۴ میلیون هکتار برابر با ۸/۳۷ درصد از منطقه اراضی دارای استعداد کم برای رویش *Ferula spp.* بوده اند. اندکی بیشتر از ۸۹ درصد از مساحت استان های خراسان رضوی و شمالی پتانسیل چندانی برای رویش *Ferula spp.* نداشته اند (جدول ۲). طبق نتایج، زیستگاه بالقوه مناسب بیشتر در مرکز و جنوب غرب و شمال شرق منطقه مطالعاتی واقع شده است.

جدول (۲): مساحت هر طبقه از رویشگاه

احتمال حضور	پتانسیل	مساحت به هکتار	درصد مساحت
۰ - ۰/۲۵	رویشگاه نامناسب	۱۲۹۶۹۳۶۷/۷۵	۸۹/۶۵
۰/۲۵ - ۰/۵	رویشگاه با تناسب کم	۱۲۱۰۹۱۴/۰۹	۸/۳۷
۰/۵ - ۰/۷۵	رویشگاه با تناسب متوسط	۲۸۳۸۷۵/۶۰	۱/۹۶
۰/۷۵ - ۱	رویشگاه با تناسب خوب	۱۷۹۴/۴۷	۰/۰۱
		۱۴۴۶۵۹۵۱/۹۱	۱۰۰

شکل (۴): نقشه پتانسیل رویشی گونه *Ferula spp.* در شمال شرق ایران

۴- نتیجه‌گیری

بنابر نتایج تحقیق حاضر، توانایی مدل حداکثر آنتروپی برای پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوه جنس کما بر اساس مقادیر سطح زیر منحنی در سطح خیلی خوب ارزیابی شده و می‌تواند برای آگاهی از ویژگی‌های محیطی رویشگاه آن کارکرد موثری داشته باشد. این نتیجه با توجه به اینکه مدل حداکثر آنتروپی پرکاربردترین مدل در مطالعات توزیع گونه‌ای است (Jarvie and Svenning, 2018) دور از انتظار نبود اما با توجه به ویژگی‌های خاص هر گونه گیاهی و عدم مطالعه توزیع جنس کما لازم بود مورد بررسی قرار گیرد. همان گونه که در بخش نتایج بیان شد متغیرهای شیب، زمین‌شناسی، اجزاء واحد اراضی، ارتفاع از سطح دریا و میانگین دمای سالانه در مناسب بودن زیستگاه بالقوه کما در سطح منطقه مورد مطالعه، بیش‌ترین اهمیت را داشتند. تفسیر منحنی‌های پاسخ این جنس نشان دهنده آن است که افزایش ارتفاع از سطح دریا (۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر) و همچنین افزایش شیب رابطه مستقیمی با حضور این جنس داشته است. ارتفاع از سطح دریا به عنوان یکی از عوامل مهم محدود کننده گسترش گیاهان، می‌تواند از طریق تاثیر بر درجه حرارت، فشار هوا، ازدیاد اشعه فرابنفش و تغییر در نوع و میزان بارندگی باعث تغییر در شرایط اقلیمی هر رویشگاه شود. با توجه به این که، گونه‌های مختلف گیاهی با توجه به نیازهای بوم‌شناختی خود هر کدام در یک محدوده ارتفاعی استقرار می‌یابند. مطالعات متعددی نقش عامل ارتفاع از سطح دریا را به عنوان یک عامل دارای تاثیر مثبت در پراکنش گونه‌های گیاهی مورد تاکید قرار می‌دهند (قاضی مرادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ آذرنیوند و همکاران، ۱۳۸۶؛ Huston, 1994؛ Arekhi et al., 2010؛ Maltez-Mouro et al., 2005). این مساله ناشی از تفاوت روش انتخاب محدوده منطقه مورد مطالعه است زیرا در کاربرد مدل‌های توزیع گونه‌ای انتخاب محدوده مطالعاتی باید طوری انجام شود که توزیع آماری یکنواخت دامنه تغییرات شرایط اکولوژیک را شامل شود لذا انتخاب محدوده باید به گونه‌ای صورت گیرد که محاط بر پراکنش جغرافیایی نقاط حضور بوده و

توزیع آماری نقاط حضور در دامنه گرادیان‌های محیطی نیز به صورت یکنواخت و متعادل باشد (Elith et al., 2010; Webber et al., 2011). در حالیکه در مقاله یاد شده چنین محدودیت روش‌شناختی وجود نداشته و مرز رویشگاه بر اساس نظر کارشناسی تعیین شده است. در اینجا به عنوان یک تجربه عملی به دست آمده از این تحقیق، توصیه می‌شود در نتیجه‌گیری از نتایج تحقیقات و مطالعات مرتبط با پتانسیل‌سنجی مطلوبیت زیستگاه به نسبت مساحت طبقات کیفی مطلوبیت بویژه مناطقی که با پتانسیل کمتر از میانگین ارزیابی شده‌اند توجه گردد.

در تحقیقات مشابه انطباق مناطق کم‌استعداد برای رویش یک گونه با پراکنش نقاط حضور فعلی آن گونه، ناشی از تراکم کمتر نقاط حضور در این مناطق قلمداد شده و این مساله به نوبه خود نشان‌دهنده کاهش حضور بالفعل گونه علیرغم وجود پتانسیل رویشگاهی تلقی شده است (Helm et al., 2006). از آنجا که کاهش حضور بالفعل یک گونه گیاهی در مناطقی که قابلیت و استعداد حضور آن را دارند همواره ناشی از کاهش توان تولید مثل و استقرار گونه در اثر عوامل طبیعی یا انسانی است. یکی از مهم‌ترین نتایج تحقیقات مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بویژه در مورد گونه‌های گیاهی از تمرکز بر نتایج مشاهداتی در مناطق با استعداد کم حاصل می‌شود (Dirnböck et al., 2011). در پژوهش ما، وسعت مناطقی که با تناسب کم برای رویش ارزیابی شده‌اند نزدیک به سه برابر مناطق با تناسب متوسط و خوب و بسیار قابل توجه بوده است. بر مبنای این بخش از نتایج پژوهش حاضر می‌توان استنباط کرد آن است که در شرایط طبیعی از قبیل تغییر اقلیم به احتمال قریب به یقین توانایی تاثیر منفی در کیفیت رویشگاه یک گونه گیاهی به صورتی که نزدیک به ۸۰ درصد از مناطق کیفیت رویشگاهی کمتر از حد متوسط را ارایه کنند نداشته و با اطمینان بالایی می‌توان گفت که عوامل انسانی از قبیل کم‌بیت و کیفیت بهره‌برداری و شیوه مدیریت و کاربری اراضی در منطقه مورد بررسی در ارتباط با گونه‌های گیاهی که از مطلوبیت برخوردارند به طور اعم و جنس کما به طور اخص باید مورد بررسی و پایش قرار گیرد. نیازهای رویشگاهی مشابه گیاهان موجب می‌شود که گروهی از گونه‌های گیاهی با سرشت بوم‌شناسی تقریباً یکسان در کنار یکدیگر قرار گیرند و محیط‌نسبتاً یکسانی را برای خود فراهم آورند. بنابراین برخی عوامل بوم‌شناختی در هر گروه گیاهی با ترکیب فلورستیک خاص وجود دارند که موجب می‌شود بتوان آن را از دیگر گروه‌ها متمایز کرد (شکراللهی و همکاران، ۱۳۹۱؛ مناجی و زاهدی، ۱۳۸۵). نتایج نشان داد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی منطقه هم عوامل اقلیمی، هم عوامل خاکی و عوامل توپوگرافی بودند که نشان می‌دهد هر سه عامل بر پوشش منطقه تأثیرگذار بودند که با نتایج زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد. عامل شیب در بین متغیرها دارای اهمیت است که برای رطوبت در دسترس گیاهان نیز عامل مهمی به شمار می‌رود. شیب تنها عامل غیر خاکی است که با ترکیب گونه‌ها همبستگی متوسطی دارد که این نتایج با یافته‌های Aertsena و همکاران (۲۰۱۰)، زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۹۱) و قاضی مرادی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

در این پژوهش، وسعت مناطقی که با تناسب کم برای رویش گونه ارزیابی شده‌اند نزدیک به سه برابر مناطق با تناسب متوسط و خوب و بسیار قابل توجه بوده است. بر مبنای این بخش از نتایج پژوهش حاضر می‌توان استنباط کرد، که در شرایط طبیعی از قبیل تغییر اقلیم به احتمال قریب به یقین توانایی تاثیر منفی در کیفیت رویشگاه یک گونه گیاهی به صورتی که نزدیک به ۸۰ درصد از مناطق کیفیت رویشگاهی کمتر از حد متوسط را ارایه کنند نداشته و با اطمینان بالایی می‌توان گفت که عوامل انسانی نظیر کم‌بیت و کیفیت بهره‌برداری و شیوه مدیریت و کاربری اراضی در منطقه مورد بررسی در ارتباط با گونه‌های گیاهی که از مطلوبیت برخوردارند. گونه‌های آنغوزه به طور اعم و باریجه به طور اخص باید مورد بررسی و پایش قرار گیرد.

منابع

- احمدی، ک.، علوی، س.ج.، و طبری کوچکسرای، م. (۱۳۹۴). ارزیابی توان تولید رویشگاه راش شرقی (*Fagus orientalis* L.) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس)، مجله جنگل ایران، ۷(۱)، ۳۲-۱۷.
- آذرینوند، ح.، نیکو، ش.، احمدی، ح.، جعفری، م.، و مشهدی، ن. (۱۳۸۶۷۰). بررسی عوامل محیطی موثر در پراکنش گونه‌های گیاهی در منطقه دامغان (مطالعه موردی: دامغان، استان سمنان). منابع طبیعی ایران، ۶۰(۱)، ۳۴۱-۳۳۳.
- پیری‌صحراگرد، ح.، زارع چاهوکی، م.ع.، آجورلو، م.، و نهتانی، م. (۱۳۹۵). مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach) در مراتع موشکیه استان قم. جنگل و فرآورده‌های چوب، ۶۹(۴)، ۷۲۵-۷۳۴.
- خلاصی‌اهوازی، ل.، زارع چاهوکی، م.ع.، و حسینی، س.ز.ا. (۱۳۹۴). مدل‌سازی پراکنش جغرافیایی رویشگاه گونه‌های *Artemisia aucheri* و *Artemisia sieberi* بر اساس روش‌های مبتنی بر حضور (MaxEnt و ENFA). تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، ۶(۱)، ۷۴-۵۷.
- رادزاد، ه.، مشتاقی، م.، عموتیان، ا.، و جمالی‌منش، ا. (۱۳۹۵). مدل‌سازی توزیع پراکنش آهوی گواتردار (*Gazella subgutturosa*) در پارک ملی بوم با حداکثر آنتروپی MAXENT. محیط زیست جانوری، ۸(۲)، ۲۴-۱۷.
- زارع چاهوکی، م.ع.، و عباسی، م. (۱۳۹۵). مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه *Stipa barbata* با استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی (ENFA) (مطالعه موردی: مراتع طالقان میانی). اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۷(۴)، ۱۶-۱.
- زارع چاهوکی، م.ع.، پیری‌صحراگرد، ح.، و آذرینوند، ح. (۱۳۹۲). مدل‌سازی پراکنش رویشگاه گونه‌های گیاهی در مراتع حوض سلطان قم با روش آنتروپی حداکثر. مرتع، ۷(۳)، ۲۱۲-۲۰۷.
- زارع چاهوکی، م.ع.، زارعی، ا.، و جعفری، م. (۱۳۹۱). مطالعه ارتباط برخی عوامل محیطی با پراکنش پوشش گیاهی در مراتع دنبلید طالقان. پژوهش‌های آب‌خیزداری، ۹۴، ۷۳-۶۵.

- شکراللهی، ش.، مرادی، ح.، و دیبانتی تیلکی، ق. (۱۳۹۱). بررسی اثر ویژگی‌های خاک و عوامل فیزیوگرافی بر پوشش گیاهی (مطالعه موردی: بخشی از مراتع ییلاقی پلور). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹(۴)، ۶۶۸-۶۵۵.
- شمس اسفندآباد، ب. (۱۳۸۹). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گوسفند وحشی و بز وحشی در مناطق کوهستانی فلات مرکزی ایران مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده هفتاد قله. رساله دکتری محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، ۱۱۸ص.
- ضرابی، م.، حق‌داری، ر.، و یوسفی، ح. (۱۳۹۶). مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه پسته ارگانیک (وحشی) (*Pistacia vera*) با استفاده از روش آنتروپی حداکثر (MaxEnt) در منطقه جنگلی سرخس (زیر حوزه گنبدلی استان خراسان رضوی). اکوهیدرولوژی، ۴(۳)، ۸۲۴-۸۱۷.
- غفاری، س.، قربانی، ا.، معماری، م.، مصطفی‌زاده، ر.، بیدار لرد، م.، و کاکه ممی، آ. (۱۳۹۹). مدل‌سازی و تعیین عوامل تأثیرگذار در انتشار گونه *Festuca ovina* با استفاده از روش آنتروپی حداکثر در مراتع نیمه شمالی استان اردبیل. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۷(۳)، ۴۳۳-۴۶۲.
- قاضی مرادی، م.، ترکش اصفهانی، م.، بشری، ح.، و وهابی، م. ر. (۱۳۹۵). تعیین رویشگاه بالقوه گونه کما (*Ferula ovina* Boiss.) با استفاده از مدل افزایشی تصمیم‌یافته (GAM) در منطقه فریدون شهر استان اصفهان. مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۹(۳)، ۶۸۹-۶۷۷.
- کیقبادی، م.، پیری صحراگرد، ح.، پهلوان راد، م. ر.، کرمی، پ.، و یاری، ر. (۱۳۹۹). کاربرد مدل جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در برآورد پراکنش رویشگاه بالقوه گونه‌های مرتعی (مطالعه موردی: مراتع خضری دشت بیاض، خراسان جنوبی). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۷(۳)، ۵۶۱-۵۷۶.
- متاجی، ا.، و زاهدی امیری، ق. ا. (۱۳۸۵). ارتباط بین گروه‌های اکولوژیک گیاهی و شرایط ادافیک رویشگاه (پژوهش موردی: جنگل خیرودکنار- نوشهر). منابع طبیعی ایران، ۴(۴)، ۸۵۳-۸۶۳.
- مروتی، م.، کرمی، م.، کابلی، م.، روستا، ز.، و شرکاتی، م. ج. (۱۳۹۳). مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه قوچ و میش (*Ovis orientalis*) مهم‌ترین طعمه پوزینگ آسیایی (*Acinonyx jubatus venaticus*) با استفاده از روش حداکثر آنتروپی در پناهگاه حیات وحش دره انجیر در استان یزد. محیط زیست جانوری، ۴(۴)، ۱۴۹-۱۳۵.
- مظفریان، و. (۱۳۹۱). شناخت گیاهان دارویی و معطر ایران. نشر تهران فرهنگ معاصر، ۱۴۴ص.
- مولایی شام‌اسی، م.، قربانی، ا.، معماری، م.، و حسین‌زاده، ع. (۱۳۹۹). مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه‌های *Artemisia fragrans* Willd. و *A. chamaemelifolia* Vill. در گرادیان ارتفاعی قزل‌اوزن - آق‌داغ خلخال. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۷(۳)، ۵۴۵-۵۶۰.
- Aertsena, W., Kinta, V., Orshovena, J., Özkanb, K. and Muysa, B. (2010). Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. *Ecological Modeling*, 221(8), 1119-1130.
- Arekhi, S., Heydari, M., and Pourbabaei, H. (2010). Vegetation-environmental relationships and ecological species groups of the Ilam oak forest landscape, Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(2), 115-125.
- Boyce, M.S. (2006). Scale for resource selection functions. *Diversity and Distributions*, 12(3), 269-276.
- Dirnböck, T., Essl, F., and Rabitsch, W. (2011). Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Global Change Biology*, 17(2), 990-996.
- Elith, J., Kearney, M., and Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(4), 330-342.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., and Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57.
- Ghareghan, F., Ghanbarian, G., Pourghasemi, H.R., and Safaeian, R. (2020). Prediction of habitat suitability of *Morina persica* L. species using artificial intelligence techniques. *Ecological Indicators*, 112.
- Helm, A., Hanski, I., and Pärtel, M. (2006). Slow response of plant species richness to habitat loss and fragmentation. *Ecology letters*, 9(1), 72-77.
- Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D., and Perrin, N. (2002). Ecological niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without absence data? *Ecology*, 83(7), 2027-2036.
- Jarvie, S., and Svenning, J.C. (2018). Using species distribution modelling to determine opportunities for trophic rewinding under future scenarios of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1761).
- Yi, Y.J., Cheng, X., Yang, Z.F., and Zhang, S.H. (2016). Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. *Ecological Engineering*, 92, 260-269.
- Lassueur, T., Joost, S., and Randin, C.F. (2006). Very high-resolution digital elevation models: Do they improve models of plant species distribution? *Ecological Modelling*, 198(1-2), 139-153.
- Lemke, D., Hulme P.E., Brown J.A., and Tadesse W. (2011). Distribution modelling of Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica*) invasion in the Cumberland Plateau and Mountain Region, USA. *Forest Ecology and Management*, 262(2), 139-149.
- Liprieur, C.E., Durand, J.M., and Peyron, J.L. (1988). Influence of topography on forest reflectance using Landsat Thematic Mapper and digital terrain data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(4), 491-496.
- Maltez-Mouro, S., Garcia, L.V., Maranon, T., and Freitas, H. (2005). The combined role of topography and overstorey tree composition in promoting edaphic and floristic variation in a Mediterranean forest. *Ecological Research*, 20(6), 668-677.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., and Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Phillips, S.J., Dudík, M., and Schapire, R.E. (2009). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, ACM Press. New York, 655-662.
- Raney, P.A., and Leopold, D.J. (2018). Fantastic wetlands and where to find them: modeling rich fen distribution in New York State with Maxent. *Wetlands*, 38, 81-93.
- Ray, D., Dev Behera, M., and Jacob, J. (2017). Evaluating Ecological Niche Models: A Comparison between Maxent and Garp for Predicting Distribution of *Hevea brasiliensis* in India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 88, 1337-1343.
- Silva, L.D., Costa, H., de Azevedo, E.B., Medeiros, V., Alves, M., Elias, R., and Silva, L. (2014). Modelling Native and Invasive Woody Species: A Comparison of Enfa and Maxent Applied to the Azorean Forest. *International Conference on Dynamics, Games and Science*, 195, 415-444.
- Thorn, J.S.V., Nijman, D., Smith, and Nekaris, K.A.I. (2009). Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus). *Diversity and Distributions*, 15(2), 289-298.

- Webber, B.L., Yates, C.J., Le Maitre, D.C., Scott, J.K., Kriticos, D.J., Ota, N., and Midgley, G.F. (2011). Modelling horses for novel climate courses: insights from projecting potential distributions of native and alien Australian acacias with correlative and mechanistic models. *Diversity and Distributions*, 17(5), 978-1000.
- Zare Chahouki, 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, 84-94.

Predicting the geographical distribution of the genus *Ferula* (*Ferula* spp.) using habitat suitability modeling (Case study: Razavi and North Khorasan Provinces)

Research Article

Javad Momeni Damaneh¹
momenyjavad@yahoo.com

Yahya Esmaeilpour *²
y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir
* Corresponding author

Hamid Gholami⁴
hadesert64@gmail.com

Azita Farashi⁴
farashi@um.ac.ir

1. Ph.D Candidate of Desert Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

3. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resource and Environment Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

Article Code: 2107-1011
Continous Pagination: 92-102

Received: 15 July 2021
Accepted: 8 September 2021
Online: 20 June 2022
Review speed: 56 days

Citation:
Momeni Damaneh, J., Esmaeilpour, Y., Gholami, H., and Farashi, A. (2022). Predicting the geographical distribution of the *Ferula* genus (*Ferula* spp.) using habitat suitability modeling (Case study: Razavi and North Khorasan Provinces). *Ecosystem Management*, 1(2), 25-35.

Abstract

The *Ferula* spp. is one of the most important genus of rangeland plants in the northeastern region of Iran and plays an important role in soil conservation and livelihood of rangeland stockholder. However, improper exploitation and destruction of the plant's habitats are among the factors threatening this natural capital. This study was conducted to identify potential habitats of this genus in the two provinces of Khorasan Razavi and North Khorasan, which can be a step to facilitate and develop replanting and rehabilitation operations of this genus. Spatial data of the presence of this genus with a pixel size of 1100*1100 m were used as actual suitable sites for its growth and layers of environmental information such as climate, soil, geology and physiography were used as predictor variables. First, in Biomapper software version 4, the correlation of prediction variables was examined and important independent variables were selected. The potential habitat map extracted from distribution model mapped using Maxent 3.3 software. The results showed that the model used had good accuracy and reached the AUC of 0.94. In terms of importance. Investigating the input variables to the model using the Jackknife test showed that the variables of the slope, Geology, Soiland, habitat altitude (dem) and the annual average temperature (Bio1) have most important roles in the potential habitat of *Ferula* spp. In the study area the results of this study can be used to identify the ecological needs of species under study and development and revitalization of its habitats.

Key Words: Climate, Maximum Entropy, Soil, Geology, Physiography.