مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵
ص ۶۸۹-۶۷۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۹
تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۵/۲۱

تعیین رویشگاه بالقوه گونه کما (*Ferula ovina* Boiss) با استفاده از مدل افزایشی تعمیم‌یافته (GAM) در منطقه فریدون‌شهر استان اصفهان

❖ **مهسا قاضی‌مرادی*؛** کارشناس ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

❖ **مصطفی ترکش اصفهانی؛** استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

❖ **حسین بشری؛** استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

❖ **محمد رضا وهابی؛** استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

چکیده

در این مطالعه توانایی مدل رگرسیون افزایشی تعمیم‌یافته در تهیه نقشه رویشگاه بالقوه گونه گیاهی کما (*Ferula ovina* Boiss) و ترسیم منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به متغیرهای محیطی در منطقه فریدون شهر واقع در غرب اصفهان با مساحت هزار کیلومترمربع بررسی شد. داده‌های حضوروغیاب *F. ovina* به روش تصادفی طبقه‌بندی شده از تعداد دویست و هفتادوهشت سایت (یک‌صد و سی‌وهشت سایت حضور و یک‌صد و چهل سایت غیاب) جمع‌آوری و نقشه نه متغیر خاک، بیست‌ودو متغیر اقلیمی و سه متغیر فیزیوگرافی با اندازه پیکسل ۷۲*۷۲ مترمربع با استفاده از روش‌های میان‌یابی (کریجینگ، معکوس فاصله وزنی) تهیه شد. سپس ارتباط بین حضوروغیاب گونه با عوامل محیطی با استفاده از مدل افزایشی تعمیم‌یافته بررسی گردید. طبق نتایج حضور این گونه با فاکتورهای میزان سیلت و رس خاک ارتباط معکوس و با میزان شیب، ارتفاع از سطح دریا، میزان ماده آلی، درصد اشباع و میانگین درجه حرارت سالیانه همبستگی مستقیم دارد. ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های مستقل بیانگر ضریب کاپای ۰/۶۴ و سطح زیر منحنی پلات ۰/۸۶ بود. طبق نقشه رویشگاه بالقوه و منحنی‌های عکس‌العمل ترسیم شده، گونه *F. ovina* در رویشگاه‌های با میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۱-۹ درجه سانتی گراد، شیب ۵۰-۲۵ درصد،ارتفاع ۳۰۰۰- ۱۹۵۰ متر از سطح دریا، کربنات کلسیم ۳۰-۱۰ درصد، ماده آلی ۶-۴ درصد، سیلت ۳۰-۱۰ درصد، رس ۶۰-۴۵ درصد و درصد اشباع ۶۰-۴۵ بیشترین احتمال حضور را دارد. مدل تولید شده در شناسایی مناطق با پتانسیل رویشی بالای این گونه و برنامه‌های اصلاح و احیای مراتع کارایی مناسبی دارد.

واژگان کلیدی: رویشگاه بالقوه، سیستم اطلاعات جغرافیایی، گونه کما، مدل افزایشی تعمیم‌یافته، فریدون‌شهر

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۳۱۳۳۹۱۳۵۶۹
Email: Mahsaghazimoradi9066@yahoo.com

۱. مقدمه

مدل‌سازی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی، به‌عنوان پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه موردنظر در سراسر چشم‌انداز بر اساس ارتباط بین رخداد گونه‌های گیاهی و متغیرهای محیطی مؤثر تعریف می‌شود[۹]. امروزه از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به همراه تکنیک‌های مختلف آماری به نحو فزاینده‌ای در مطالعات اکولوژیک و تعیین پراکنش مکانی و مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی استفاده می‌گردد[۸ و ۱۴].

طی دو دهه گذشته، تحقیقات و مدل‌های مختلفی جهت تعیین رویشگاه بالقوه گونه‌های گیاهی و جانوری توسعه‌یافته است. اولین مطالعات در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای در اواسط سال ۱۹۷۰ انجام شد که روابط گونه با محیط در کامپیوتر به‌صورت کمی بیان شد و بعد از آن در سال ۱۹۷۱، پیش‌بینی مکانی گونه‌های زراعی بر پایه آشیان اکولوژیک انجام گردید. در سال ۱۹۸۶ نیز مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها با استفاده از مدل پوشش جغرافیایی ساده در محیط *GIS* انجام گرفت و از آن زمان به بعد تحقیقات زیادی در این زمینه در سرتاسر جهان انجام شده است[۹].

اکثر مدل‌هایی که درزمینه مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای به کار می‌روند جزو مدل‌های همبستگی طبقه‌بندی می‌شوند. این مدل‌ها برای تعیین ارتباط بین حضور گونه‌ها و عوامل محیطی کنترل‌کننده آن‌ها استفاده شده و فاقد رابطه علت و معلولی هستند. در این مدل‌ها متغیر پاسخ معمولاً حضوروغیاب و یا تنها حضور گونه‌ها و متغیرهای پیش‌بینی کننده عمدتاً متغیرهای محیطی در نظر گرفته می‌شود و احتمال رخداد گونه موردنظر در سایر مکان‌ها تعیین می‌گردد. رویشگاه بالقوه، محلی است که شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک موردنیاز یک‌گونه خاص را تأمین نموده و اجازه استقرار و تولید مثل گونه هدف را می‌دهد و معادل آشیان اکولوژیک پتانسیل[1] در نظر گرفته می‌شود[۱].

از روش‌های مختلف مدل‌سازی نظیر *GLM*[2] و *GAM*[3] برای ساخت مدل پیش‌بینی برخی از گونه‌های گیاهی استفاده شده است. طی تحقیقی برای پیش بینی پراکنش گونه‌های گیاهی زمین‌های پست در کنار رودخان‌های در کشور بلژیک رابطه رگرسیونی بین حضور و عدم حضور گونه‌های گیاهی با خصوصیات محیطی هر گونه گیاهی تعیین‌شده و بعد از تعمیم رابطه در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، نقشه احتمال رخداد گونه‌های گیاهی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از این دو روش مدل‌سازی تولید گردید[۵]. در تحقیقی دیگر کاربرد مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته(*GAMS*) برای مدل‌سازی پراکنش گونه‌های سرخس انجام شد بدین ترتیب که داده‌های حضوروغیاب چهل‌وسه گونه سرخس در نیوزلند و مدل‌های حاصل از تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (*ENFA*[4]) برای داده‌های حضور واقعی و داده‌های غیاب غیرواقعی تولید شده با کامپیوتر بررسی و مقایسه شد. نتایج مدل حضوروغیاب *GAM* نشان داد که میانگین درجه حرارت سالانه و میانگین تابش خورشیدی سالانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل بعد از عامل زمین‌شناسی در چگونگی پراکنش گونه‌های سرخس مورد مطالعه بودند[۱۹].

در جنگل‌های غرب امریکا نیز مطالعه‌ای در این زمینه انجام شد و امکان استفاده از ۵ روش مدل‌های خطی (*LMS*[5])، مدل‌های افزایشی (*GAMS*)، رگرسیون و طبقه‌بندی درختی (*CARTS*[6])، شبکه عصبی مصنوعی (*ANNS*[7])، *MARS*[8] در پیش‌بینی رویشگاه‌های این منطقه بررسی و مقایسه شد که درنهایت مدل‌های *MARS* و *GAM* بهترین نتیجه را در پی داشتند [۱۱]. در تحقیقی دیگر رابطه بین متغیرهای توپوگرافی، شیب، نور، برف و

[1] Fundamental Ecological Nich
[2] Generalized Linear Model
[3] Generalized additive Models
[4] Ecological Nich Fundamental Analysis
[5] Linear Models
[6] Classification and Regression Tree
[7] Artificial NaturalNetworks
[8] Multivariate Adaptive Regression Spline

پتانسیل اشباع خاک با حضور چهار گونه گیاهی در شرق گلاسیر با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم‌یافته و رگرسیون افزایشی تعمیم‌یافته بررسی شد و نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل پراکنش گونه‌های مورد مطالعه متغیر توپوگرافی است [۶]. در کشور آلمان نیز شش مدل آماری جهت پراکنش گونه‌ای مقایسه شد که نتایج این مطالعه نشان داد که مدل‌های پروفیل در مقایسه با مدل‌های متمایز کننده گروهی دارای سطح زیر منحنی پلات‌های *ROC* بالاتر و عملکرد بهتری در یک مقیاس محلی است [۱۶].

در کشور ایران نیز مطالعاتی در زمینه ایجاد مدل‌های پتانسیل پراکنش گونه‌ای انجام شده است و به‌عنوان‌مثال با استفاده از روش رگرسیون لجستیک رابطه بین حضور گونه *Cornulaca monacantha* با عوامل محیطی بررسی شده است [۱۶]. در مطالعه‌ای دیگر در مراتع فریدون‌شهراصفهان از مدل رگرسیون لجستیک درختی[1] (LRT) به‌منظور تهیه نقشه رویشگاه بالقوه گونه گیاهی گون زرد (*Astragalus verus*) استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که حضور گونه گون زرد با فاکتورهای محیطی میانگین درجه حرارت سالیانه و ۳ فاکتور خاک (رس، هدایت الکتریکی، کربن آلی) بیشترین میزان همبستگی را داشتند به‌طوری‌که حضور این گونه با میزان رس و کربن آلی همبستگی مستقیم و با میزان هدایت الکتریکی همبستگی معکوس داشت [۱۵].

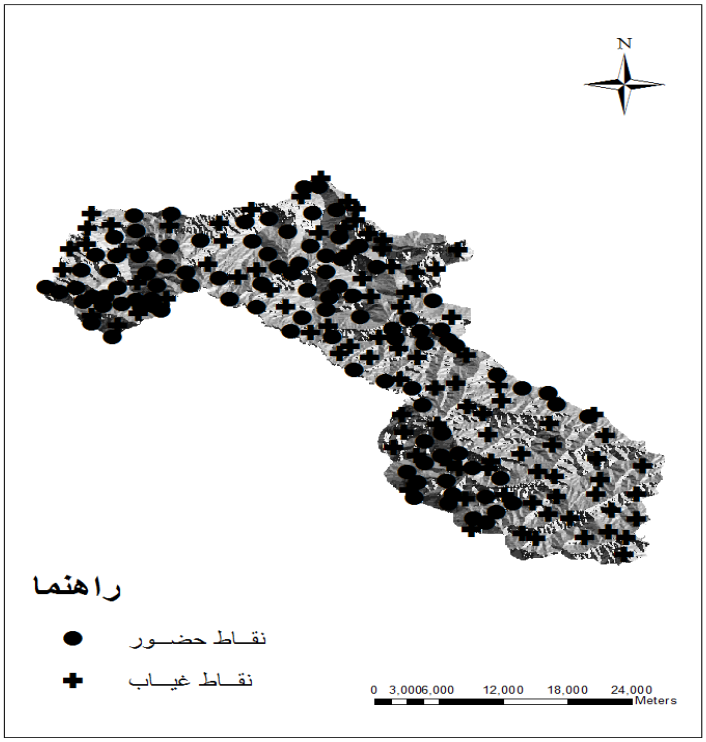
گونه گیاهی کما (*F.ovina*) از با ارزش ترین گیاهان علوفه‌ای(به‌صورت خشک)، حفاظتی و دارویی در مراتع ییلاقی است که ارزش علوفه‌ای آن در حد یونجه بوده و در رشد و نمو دام تأثیر بسزایی دارد [۱۳]. مهم‌ترین رویشگاه‌های این گونه در ایران در ارتفاعات البرز و زاگرس است. در استان اصفهان نیز رویشگاه‌های آن به‌طور عمده در شهرستان‌های فریدن و فریدون‌شهر و در دامنه‌های ارتفاعات زاگرس مرکزی واقع شده است. علوفه سبز *F.ovina* در مراتع کمتر مورد استفاده دام قرار گرفته و روستاییان به‌طورمعمول آن را با روش دستی و به‌صورت سنتی برداشت کرده و پس از خشکانیدن جهت مصرف دام در فصل نامساعد سال، ذخیره‌سازی می‌کنند[۱۳]. متأسفانه به دلیل چرای مفرط و همچنین اثرات حاصل از لگدکوبی دام، شرایط زیستگاهی این گونه در برخی مناطق نامناسب شده و برخی از عرصه‌های طبیعی این گیاه در حال نابودی است. برای جلوگیری از انقراض این گیاه علوفه‌ای، لازم است ضمن حفاظت از رویشگاه‌های طبیعی آن، تلاش‌هایی جهت بازسازی رویشگاه‌های تخریب یافته صورت گیرد[۲]. در ایران طبق بررسی منابع به عمل آمده تاکنون کاربرد مدل افزایشی تعمیم‌یافته در تهیه نقشه پراکنش گونه‌های گیاهی مورد ارزیابی قرار نگرفته است در این مطالعه، توانایی مدل مذکور در تهیه نقشه رویشگاه بالقوه گونه گیاهی با ارزش *F. ovina* و تهیه منحنی‌های عکس‌العمل این گونه در منطقه فریدون‌شهراصفهان مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. روش‌شناسی تحقیق

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مراتع شهرستان فریدون‌شهر و در فاصله یک‌صد و چهل کیلومتری شهرستان اصفهان قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی این منطقه بین "۴۹°۳۸'۳۲ و "۵۰°۱۵'۳۶ طول شرقی و "۳۳°۶'۴۸ و "۳۲°۴۲'۱۸ عرض شمالی واقع شده است. وسعت محدوده مطالعاتی در حدود هزار کیلومترمربع و متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا دو هزار و شصصد و شصت و دو متر و متوسط بارندگی منطقه بر اساس آمار اداره کل هواشناسی استان اصفهان در دوره آماری سی ساله (۱۳۶۱-۱۳۹۱) حدود چهارصد و پنجاه میلی‌متر است.

[1] Logistic Regression Tree



شکل ۱- محدوده منطقه مطالعاتی (فریدونشهر اصفهان)

۲.۲. جمع‌آوری داده‌ها

به‌منظور جمع‌آوری داده‌های حضوروغیاب گونه با انجام پیمایش زمینی و با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده، تعداد دویست و هفتادوهشت سایت شامل یک‌صد و سی‌وهشت سایت حضور و یک‌صد و چهل سایت غیاب از گونه مذکور با استفاده از نقشه پوشش گیاهی در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ انتخاب شد که در گام بعدی با عملیات میدانی و بازدیدهای صحرایی کنترل گردید. نقاط حضور گونه بدین مفهوم است که میزان تراکم و نمود ظاهری این گونه در منطقه قابل‌ملاحظه بوده است و این گونه جزو گونه‌های غالب تیپ گیاهی است. مناطقی که این گونه به‌عنوان گونه همراه بوده و تراکم و نمود ظاهری کمی داشته‌اند به‌عنوان سایت حضور لحاظ نشد. بدین منظور ابتدا تیپ‌های گیاهی که گونه مورد مطالعه به‌صورت غالب در آن حضور داشت مشخص و سپس نقشه مکانی شیب، جهت و ارتفاع منطقه در نرم‌افزار *GIS* با اندازه پیکسل ۷۲*۷۲ مترمربع با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی (*DEM*) تهیه شد. سپس نقشه‌های محیطی شیب، جهت و ارتفاع روی هم‌اندازی شد و در یک‌صد و شصت واحد ترکیبی ایجاد شده (منظور واحدهایی است که نظیر آن در طبیعت مشاهده می‌شود)، به‌صورت تصادفی سایت‌های حضوروغیاب انتخاب گردیدند. داده‌های اقلیمی از تعداد نه ایستگاه معرف منطقه و داده‌های خاک مربوط به هفتاد پروفیل با عمق تا هفتاد سانتی‌متری در مناطق حضور و عدم حضور گونه کما (*F.ovina*) در منطقه استخراج گردید [۴]. نقشه پارامترهای خاک و عوامل اقلیمی نیز از طریق روش‌های مختلف میان‌یابی تهیه شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کلموگروف اسمیرنوف[1] در

[1]Kolmogrov-Smirnov

نرم‌افزار *Minitab* 15 بررسی شد و در صورت عدم نرمال بودن داده‌ها با توجه به نوع چولگی با روش‌های تبدیل لگاریتم، جذر، توان یا روش کاکس باکس (*Cox-Box*) نرمال شدند. 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[1] بهترین مدل واریوگرام انتخاب و مقادیر اثر قطعه‌ای[2]، دامنه[3] و حد آستانه[4]، بهترین مدل واریوگرام برای هر یک از متغیرهای محیطی تعیین گردید. از نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه (*co/(c+co*) به‌عنوان معیاری برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها استفاده گردید، به‌نحوی‌که اگر نسبت مذکور کمتر از ۰/۲۵ بود متغیر مورد استفاده دارای ساختار مکانی قوی، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط و در حالتی که بزرگ‌تر از ۰/۷۵ بود دارای ساختار مکانی ضعیف طبقه‌بندی گردید[۱۵]. به‌منظور انتخاب بهترین روش میان‌یابی از شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطا (*MAE*[5])، میانگین انحراف خطا (*MBE*[6]) و همچنین خطای مجذور میانگین که بیانگر میزان انحراف مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر مشاهده شده است، استفاده گردید. هر روشی که کمترین مقدار شاخص‌های مذکور را داشته باشد به‌عنوان بهترین روش میان‌یابی انتخاب شد. تأثیرگذارترین متغیرهای محیطی با توجه به شکل پلات‌های جعبه‌ای، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و ماتریس همبستگی انتخاب و وارد فرایند مدل‌سازی گردید. روش کار بدین شکل بود که ابتدا پلات‌های جعبه‌ای (Box Plots) تغییرات مقادیر متغیرهای مختلف، در حالت‌های حضوروغیاب گونه کما (*F.ovina*) مقایسه شد و اگر اختلاف زیادی بین این دو باکس پلات وجود داشت دلیل بر موثر بودن این متغیر در حضور و یا غیاب این گونه تشخیص داده شد. سپس به نتایج همبستگی بین پارامترها و نتایج مؤلفه‌های اصلی رجوع شد و بین متغیرهایی که همبستگی معنی‌دار و بالایی وجود داشت، متغیری که دارای مقدار ویژه بالاتری در تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی داشت به‌عنوان متغیر تأثیرگذار وارد مدل گردید. مدل GAM با استفاده از ضمیمه مرجع[7] GRASP در محیط R برازش گردید.

مدل افزایشی تعمیم‌یافته یک مدل آماری و جزو مدل‌های غیر پارامتریک است و نیازی به نرمال بودن داده‌های ورودی نداشته و بدون هیچ پیش فرضی نسبت به شکل منحنی‌های عکس‌العمل متغیرهای ورودی عمل می‌کند. در مدل‌های تعمیم‌یافته خطی متغیر پاسخ تابع، گروهی از متغیرهای مستقل است. مدل مذکور در واقع تعمیم‌یافته رگرسیون خطی و رگرسیون منطقی است. به روش مذکور افزایشی گفته می‌شود زیرا این مدل را می‌توان به‌صورت مجموع چند تابع غیرخطی (هر تابع برای یک متغیر پیش‌بینی کننده) بیان نمود (معادله یک). مدل افزایشی تعمیم‌یافته علاوه بر شناسایی روابط خطی، قادر به کشف روابط غیرخطی بین متغیرها نیز است [۹].

معادله (یک)

$$y = \alpha + \sum_{j=1}^{p} f_j \ X_j$$

در این معادله:

fj (Xj):تابع هموارساز برازش شده بر متغیرهای مستقل محیطی

α : عرض از مبدأ

برای ارزیابی پیش‌بینی مدل نسبت به واقعیت زمینی از تعداد پنجاه سایت مستقل (شامل بیست‌وپنج سایت حضور و بیست‌وپنج سایت غیاب مستقل در منطقه مورد مطالعه) استفاده شد و جدول ماتریس خطا[8] تشکیل گردید و مقادیر شاخص کاپا(K) و سطح زیر منحنی پلات[9] با استفاده از نرم‌افزار *MEP*[10] تولید شده توسط ترکش و همکاران تعیین شد [۱۴].

[1] Root Mean Square Error
[2] Nugget Effect
[3] Range
[4] Sill
[5] Mean Absolute Error
[6] Mean Bias Error
[7] Library
[8] Confusion Matrix
[9] AUC of Roc Plot
[10] Model Evaluation Program

جدول۱- مقادیر میانگین و انحراف معیار متغیرهای محیطی (مستقل) جهت پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه کما

متغیر	علامت اختصاری	واحد	میانگین	انحراف معیار	متغیر	علامت اختصاری	واحد	میانگین	انحراف معیار
حداقل دما در سردترین فصل	Min.c.q	درجه سانتی‌گراد	-۲۶,۳	۴,۱۲	میانگین دمای روزانه	D.m.t	درجه سانتی‌گراد	۱۴,۲	۱,۹۶
متوسط دما در مرطوب‌ترین فصل	T.wet.q	درجه سانتی‌گراد	-۰,۱۲	۱,۹	میانگین دمای سالانه	A.m.t	درجه سانتی‌گراد	۱۰,۸	۱,۶
متوسط دما در خشک‌ترین فصل	T.D.Q	درجه سانتی‌گراد	۲۱,۶۳	۱,۶۵	حداکثر دما در گرمترین ماه	Max.t.war	درجه سانتی‌گراد	۳۶,۸	۱,۴۲
متوسط دما در گرمترین فصل	T.war.Q	درجه سانتی‌گراد	-۰,۱۲	۱,۹	رطوبت اشباع خاک	Sp	درصد	۴۷,۰۳	۹,۵۵
متوسط دما در سردترین فصل	T.C.Q	درجه سانتی‌گراد	-۰,۱۱۲	۱,۹	رس خاک	Clay	درصد	۴۶,۳۹	۱۲,۴۱
میانگین بارش سالانه	A.m.p	میلی‌متر	۴۹۳,۵	۳۴۴,۱	سیلت خاک	Silt	درصد	۳۲,۴۸	۹,۸۴
مناطق هم‌دما	Isotherm	درجه سانتی‌گراد	۲۲,۵	۲,۹۳	شن خاک	Sand	درصد	۲۱,۱۶	۱۳,۸۹
بارندگی در خشک‌ترین ماه	P.d.m	میلی‌متر	۱,۲	۰,۳۷	میزان اسیدیته خاک	PH	-	۷,۶۷	۰,۴۶
بارندگی در مرطوبترین ماه	P.wet.q	میلی‌متر	۱,۲۱	۰,۳۷	مواد آلی خاک	Om	درصد	۲,۸	۰,۹۷
بارندگی در خشک‌ترین فصل	P.d.q	میلی‌متر	۱,۲	۰,۳۷	کربن آلی خاک	Oc	درصد	۱,۳۱	۰,۷۱
بارندگی در مرطوب‌ترین فصل	P.wat.q	میلی‌متر	۱۰۵,۶۶	۷۶,۹	هدایت الکتریکی خاک	Ec	دسی زیمنس بر متر	۰,۵۳	۰,۲۴
بارندگی در گرمترین فصل	P.war.q	میلی‌متر	۱,۲	۰,۳۷	کربنات کلسیم	Caco3	درصد	۱۰,۲۱	۹,۹۳۱
بارندگی سردترین فصل	P.c.q	میلی‌متر	۱,۳	۰,۳۵	شیب	Slope	درصد	-	-
بارندگی فصلی	P.s	میلی‌متر	۴۲,۸۳	۳۰,۳۳	مدل رقومی ارتفاع	Dem	متر	-	-
درجه حرارت فصلی	T.s	درجه سانتی‌گراد	۱۰,۸	۱,۵۲	جهت شیب	Aspect	درجه	-	-
دامنه‌ی درجه حرارت سالانه	T.r	درجه سانتی‌گراد	۶۳,۱۶	۴					

۳. نتایج

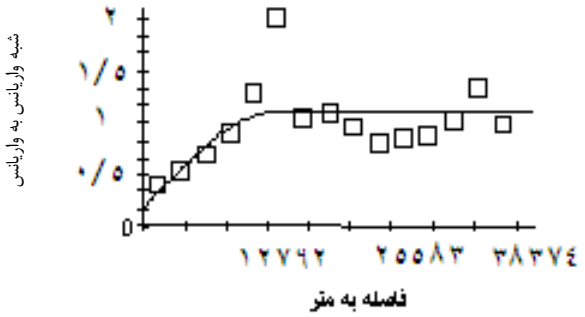
۱.۳. تهیه نقشه‌های محیطی

۱.۱.۳. ترسیم واریوگرام

بهترین مدل واریوگرام با توجه به مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا برای هر متغیر محیطی انتخاب گردید. مقادیر اثر قطعه‌ای، دامنه و سقف بهترین مدل برای هر پارامتر، در جدول دو نشان داده شده است. شکل یک مدل واریوگرام تولیدشده درصد رس را نشان می‌دهد که بیانگر همبستگی بالای مکانی متغیر رس تا فاصله ۲۰۰۰ متری (شکل سه) است و سپس همبستگی مکانی از بین می‌رود.

جدول۲- اجزای مربوط به واریوگرام متغیرهای وارد شده به مدل

پارامتر	مدل تغییرنما	اثرقطعه ای (*C0*)	آستانه (*C+C0*)	*C0/(C+C0)*	کلاس وابستگی	*RMSE*
رس	کروی	۰/۱۸۴	۱/۲۲۵	۰/۱۵۰۲۰۴	قوی	۰/۴۴
سیلت	نمایی	۳۳	۷۰/۶۶	۰/۴۶۷۰۲۵	متوسط	۶/۷
کربنات کلسیم	کروی	۰/۲۰۶	۲/۱۶۴	۰/۰۹۵۱	قوی	۱/۱۳
درصد اشباع	نمایی	۲۴/۵	۱۰۸/۱	۰/۲۲۶۶۴۲	قوی	۹/۲۶
میانگین درجه حرارت سالیانه	گوسین	۰/۵۰۷	۸/۹۱۳	۰/۰۵۶۸۸۳	قوی	۰/۹۹



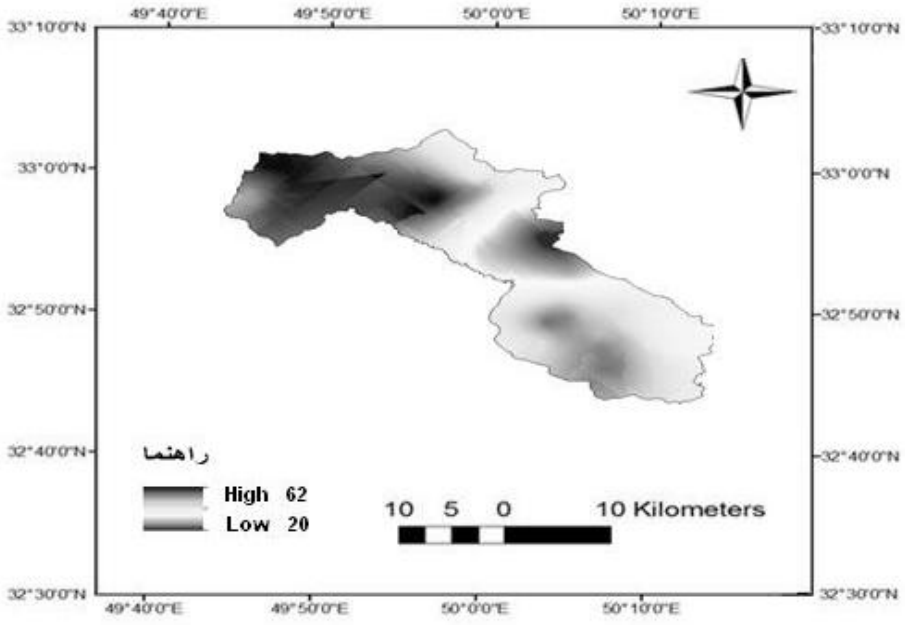
شکل۲- مدل واریوگرام تولیدشده درصد رس

۲.۱.۳. تولید نقشه‌های محیطی با استفاده از روش‌های میان‌یابی (کریجینگ و معکوس فاصله وزنی)

بهترین روش میان‌یابی با استفاده از شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطا (*MAE*)، میانگین انحراف خطا (*MBE*) و خطای مجذور میانگین (*RMSE*) تعیین شد. بهترین روش کریجینگ برای تولید نقشه رس روش کریجینگ معمولی، برای سیلت روش کریجینگ ساده، برای ماده آلی روش معکوس فاصله وزنی، برای کربنات کلسیم کریجینگ معمولی و برای میانگین درجه حرارت سالیانه کریجینگ معمولی تشخیص داده شد (جدول سه). شکل دو نقشه درصد رس تولید شده را با استفاده از روش کریجینگ معمولی نشان می‌دهد که دامنه تغییرات آن بین ۲۰ تا ۶۲ درصد است.

جدول۳- بهترین مدل میان‌یابی انتخاب شده جهت تهیه نقشه متغیرهای محیطی

متغیر	روش میان‌یابی	میانگین قدر مطلق خطا	میانگین انحراف خطا	خطای مجذور میانگین
سیلت	کریجینگ ساده	۵/۲	-۰/۳۹	۶/۷
رس	کریجینگ معمولی	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۷۳
ماده آلی	معکوس فاصله وزنی	۰/۹۴	۰/۲	۱/۲۹
کربنات کلسیم	کریجینگ معمولی	۰/۸۱	۰/۰۰۳	۱/۱۳
درصد اشباع	کریجینگ معمولی	۰/۵۶	-۰/۰۲	۰/۷۳
میانگین درجه حرارت سالیانه	کریجینگ معمولی	۰/۶۷	-۰/۰۱۸	۰/۹۹



شکل۳- نقشه درصد رس تولید شده با استفاده از روش کریجینگ معمولی

۳.۱.۳. برازش مدل آماری

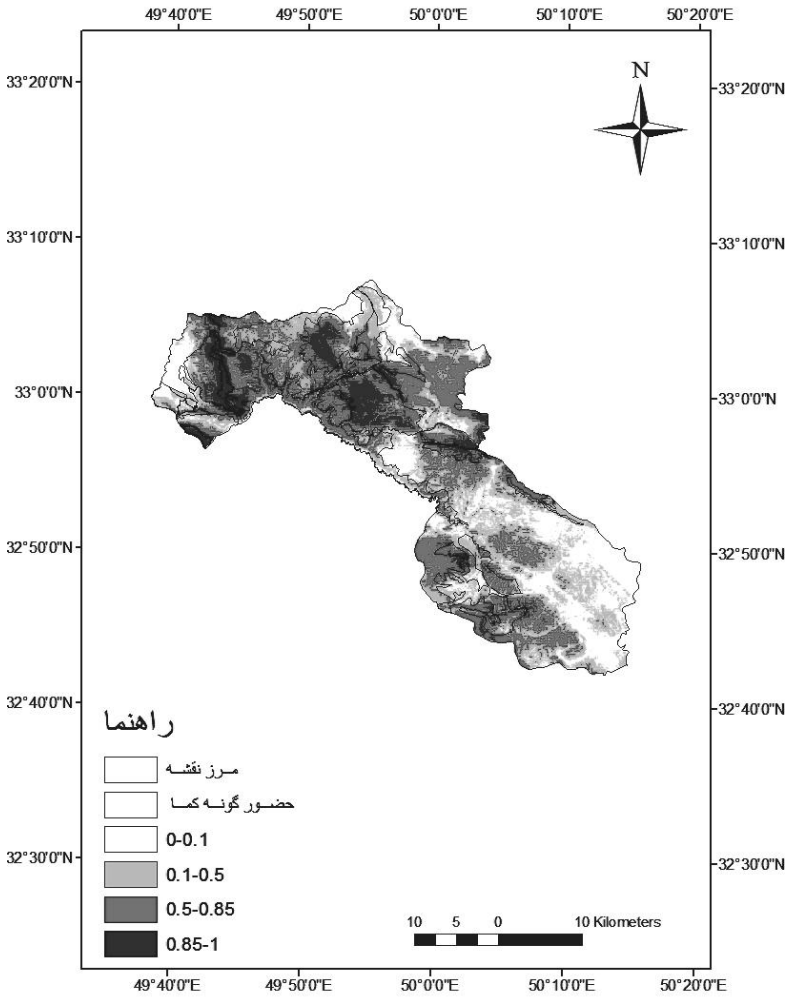
مدل پیش‌بینی احتمال حضور گونه کما (*F.ovina*) بر اساس مدل افزایشی تعمیم‌یافته با توجه به فاکتورهای محیطی منتخب ترسیم گردید. از سی‌ویک عامل محیطی مطالعه شده تعداد پنج متغیر خاک (میزان ماده آلی، درصد رس، درصد اشباع، کربنات کلسیم و درصد سیلت) و دو متغیر فیزیوگرافی (شیب و ارتفاع) و یک متغیر اقلیمی (میانگین درجه حرارت سالیانه) وارد فرایند مدل‌سازی گردید (شکل ۳). طبق منحنی‌های عکس‌العمل ترسیم شده (شکل۴)، حضور این گونه در منطقه مطالعاتی با میزان سیلت و رس همبستگی معکوس و با میزان شیب، ارتفاع از سطح دریا، میزان ماده آلی خاک، درصد اشباع خاک و میانگین درجه حرارت سالیانه همبستگی مستقیم دارد. منحنی‌های عکس‌العمل به دست آمده، بیشترین احتمال حضور گونه *F.ovina* نسبت به شرایط محیطی را نشان می‌دهد (شکل ۵).

از کل منطقه مورد مطالعه ۱۲۹۷۰ هکتار معادل ۱۳ درصد دارای پتانسیل عالی ، ۳۰۳۲۹ هکتار معادل ۳۰ درصد پتانسیل خوب، ۲۴۷۶ هکتار معادل ۲۵ درصد پتانسیل رویش متوسط و ۳۱۸۱۷ هکتار معادل ۳۲ درصد از کل منطقه فاقد پتانسیل رویشگاهی برای گونه کما (*F.ovina*) تشخیص داده شد.

۴.۱.۳. ارزیابی مدل GAM

نتایج حاصل از ارزیابی نقشه پراکنش گونه *F. ovina* با استفاده از داده‌های مدل GAM (روش جایگزینی) و ماتریس خطا نشان داد که مدل پیش‌بینی شده دارای مقدار ضریب کاپای ۰/۶۴ و تطابق خوب و با روش سطح زیر منحنی پلات (*AUC*) دارای مقدار ۰/۸۶ و تطابق قابل‌قبول با واقعیت زمینی است (جدول چهار). نتایج ارزیابی با استفاده از داده‌های مستقل و ماتریس خطا نیز نشان داد که بر اساس طبقه‌بندی سوئیتس ولندیس[1] مدل از تطابق خوب با واقعیت زمینی برخوردار است.

[1] Swiss & Landis



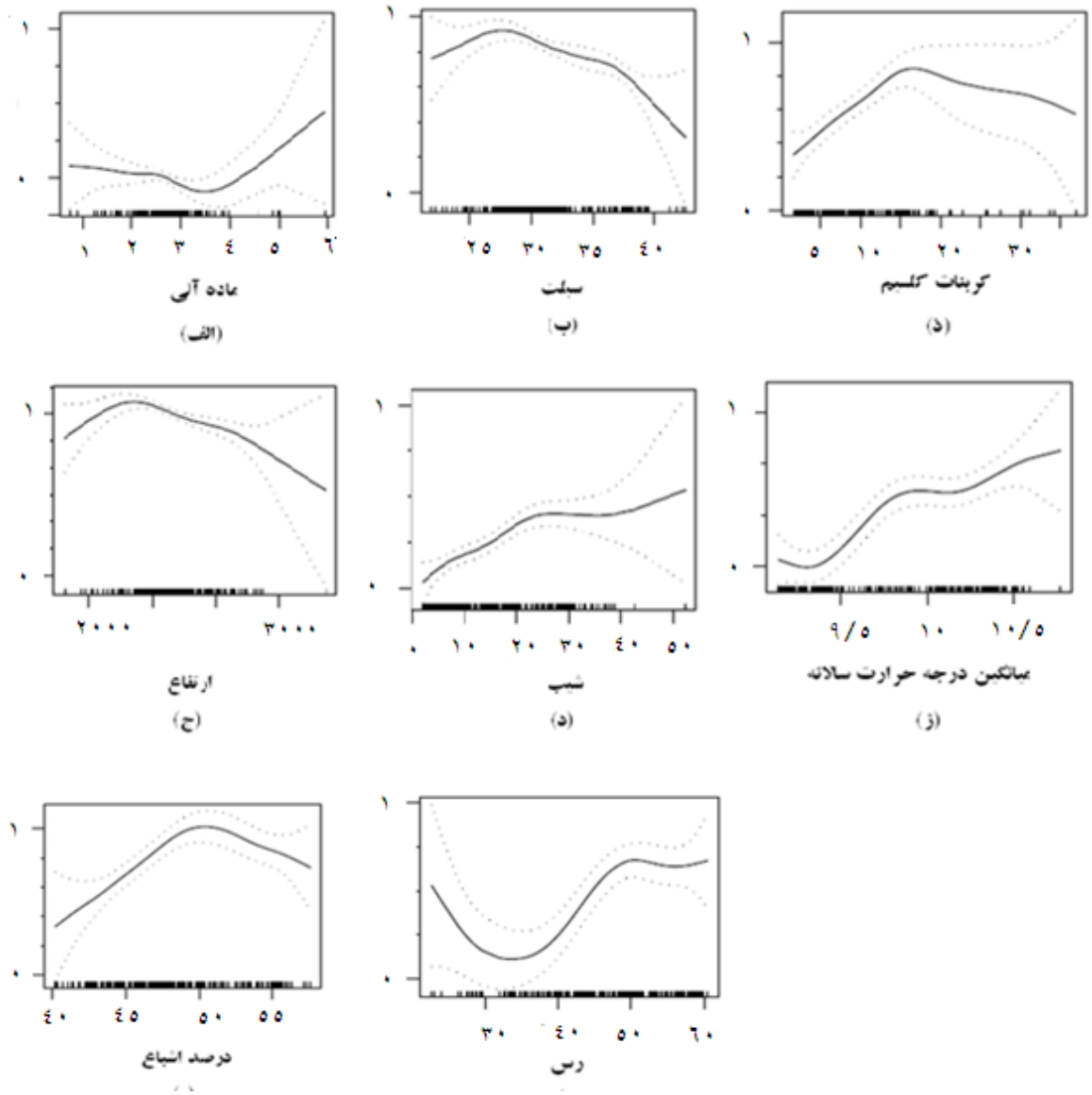
شکل۴- نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه کما (*Ferula ovina*) در منطقه مطالعاتی فریدون‌شهر اصفهان

جدول ۴- داده های مربوط به ارزیابی مدل

داده های مستقل	داده های مدل	مقدار اندازه گیری
۰,۷۵	۰,۶۱	کاپای ماکزیمم
۰,۷۵	۰,۸۸	میزان سطح زیر منحنی پلات (ROC)
۰,۷۶	۰,۸۰۹	میزان صحت کلی

جدول۵- ماتریس خطای حاصل از ارزیابی مدل GAM با استفاده از دو روش جایگزینی و داده‌های مستقل

روش داده‌های مستقل		روش جایگزینی		
پیش بینی شده		پیش بینی شده		مشاهده شده
غیاب	حضور	غیاب	حضور	
۲۶	۱۱۰	۳	۱۶	حضور
۱۱۵	۲۷	۲۲	۹	غیاب



شکل۵- منحنی عکس‌العمل متغیرهای محیطی (اقلیمی، خاک و فیزیوگرافی) در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. خط پر رنگ نشان‌دهنده احتمال رخداد گونه نسبت به متغیر محیطی و خطوط خط چین نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. متغیر دما بر حسب درجه سانتیگراد، ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر و سایر متغیرها بر حسب درصد ارایه شده است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که مدل رگرسیون افزایشی تعمیم‌یافته به خوبی می‌تواند در مدل‌سازی و پیش‌بینی پراکنش گونه *F. ovina* در مراتع نیمه استپی استفاده شود و این قابلیت را دارد که برای سایر گونه‌های مرتعی و باارزش دیگر نیز استفاده گردد. همچنین با استفاده از این مدل منحنی‌های عکس‌العمل این گونه نسبت به متغیرهای محیطی ترسیم گردید و دامنه حضور و شرایط بهینه رویشگاهی این گونه تعیین شد. مدل رگرسیون افزایشی تعمیم‌یافته به خاطر انعطاف‌پذیری در تعیین نوع و درجه ارتباط و امکان برازش اشکال مختلف منحنی‌های پاسخ بسیار مورد توجه قرار گرفته است و از این مدل‌ها

در طیف گسترده‌ای از مطالعات اکولوژیکی گونه‌های گیاهی و جانوری استفاده گردیده است. در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه کما (*F.ovina*) از انواع متغیرهای ادافیکی، فیزیوگرافی و اقلیمی استفاده شد. در مطالعاتی که از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته برای تعیین روابط بین متغیرها استفاده شده است، به‌شرط پیوسته بودن داده‌ها می‌توان از مدل افزایشی تعمیم‌یافته استفاده کرد. به‌این‌ترتیب، کیفیت پیش‌بینی متغیر وابسته حداکثر شده و روابط غیرخطی و غیریکنواخت بین متغیر پاسخ و مجموعه متغیرهای مستقل مشخص می‌شود. مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته نسبت به مدل‌های خطی تعمیم‌یافته مرسوم از چند نظر برتری دارند. اول این‌که ساختار افزایشی آن‌ها به بیان نتایج قابل تفسیر به‌صورت جداگانه برای هر متغیر مستقل وارد شده و به تفسیر مدل کمک می‌کند. همان‌طور که در شکل پنج نشان داده شده است این مدل می‌تواند اشکال مختلف منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به متغیرهای محیطی را ترسیم نماید که کمک شایانی در رابطه با تفسیر اکولوژیکی یک گونه گیاهی خاص می‌نماید. دوم اینکه در مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته هیچ‌گونه پیش فرضی نسبت به شکل منحنی عکس‌العمل گونه وجود ندارد ولی در روش‌های پارامتریک از قبل روابط خطی، سیگموئید یا زنگوله‌ای بین حضور گونه و عوامل محیطی فرض می‌شود. به‌عبارت‌دیگر مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته به‌جای مدل محوری، داده محورند، به این معنی که نتایج مقادیر پارامترهای به دست آمده از مدل پیشین استنباط نمی‌شود، بلکه ابتدا ساختار داده‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد [۱۰]. در واقع مدل GAM توانایی مقابله با روابط غیرخطی و غیریکنواخت بین متغیر پاسخ و مجموعه‌ای از متغیرهای توضیحی را دارد و می‌تواند ساختار غیرخطی داده‌ها را کنترل کند و در توسعه مدل‌های زیست‌محیطی استفاده شود و در نتیجه درک ما از سیستم‌های زیست‌محیطی را افزایش دهد [۱۰]. در کنار این مزایا ازجمل مهم‌ترین موانع و محدودیت‌های کار، حساسیت مدل به اندازه نمونه و پیچیدگی تعمیم مدل به فضای جغرافیایی است.

همان‌طور که نتایج این مطالعه نشان داد حضور گونه *F. ovina* در منطقه مطالعاتی با میزان سیلت و رس همبستگی معکوس و با میزان شیب، ارتفاع از سطح دریا، میزان ماده آلی، درصد اشباع خاک و میانگین درجه حرارت سالیانه همبستگی مستقیم دارد. میزان مواد آلی و هوموس خاک عامل اصلی ایجاد و تشکیل ساختمان خاک بوده و در نتیجه باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری خاک می‌شود. همچنین مواد آلی از ازت غنی هستند و به دلیل داشتن صفات جذب سطحی تا حد زیادی در نگه‌داری عناصر تبادلی و در اختیار گذاشتن عناصر نقش مهمی ایفا می‌کنند. این تحقیق نشان داد که حضور این گونه با میزان ماده آلی رابطه مستقیم دارد یعنی هرچه ماده آلی بیشتر می‌شود، حضور گونه هم بیشتر می‌شود. طبق مطالعات انجام شده وضعیت بافت خاک تا حد زیادی در تعیین رویشگاه *F. ovina* حائز اهمیت است. این گونه در منطقه مورد مطالعه، بافت‌های سنگین و نسبتاً سنگین را به بافت‌های متوسط و سبک ترجیح می‌دهد. خاک تقریباً منبع اصلی همه کانی‌های ضروری برای رشد ارگانیسم‌ها است. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با آب‌وهوا و نوع پوشش گیاهی که در آن به وجود می‌آید تغییر می‌کند. این ویژگی‌های خاک تأثیر فراوانی بر نحوه رشد، جوانه‌زنی والگوی پراکنش گیاهان دارند [۱۷]. تغییرات بافت خاک افزون بر تأثیر در جذب مواد غذایی و تهویه، بر میزان رطوبت قابل دسترس نیز مؤثراست.

از نظر شرایط خاک با افزایش میزان کربنات کلسیم خاک تا ۱۰ درصد، احتمال حضور این گونه فزایش می‌یابد ولی بعد از آن به ازای افزایش کربنات کلیسم احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد زیرا با افزایش غلظت املاح در خاک و محیط اطراف ریشه، علاوه بر کاهش آب قابل استفاده برای گیاه، موجب به هم خوردن تعادل و مقدار یون‌ها می‌شود. با افزایش درصد اشباع خاک تا ۵۰ درصد احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد اما بعد از آن به

ازای افزایش درصد اشباع خاک احتمال حضور کاهش می‌یابد زیرا در این شرایط احتمال میزان تهویه کاهش می‌یابد و احتمال خفگی گیاه افزایش می‌یابد [۱۱].

از نظر شرایط فیزیوگرافی، با افزایش شیب احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد. با افزایش شیب، خاک‌ها شسته شده و حالت سنگلاخی پیدا می‌کند ولی این گونه به دلیل داشتن ریشه‌های قوی و ضخیم، شرایط سنگلاخی را نیز می‌تواند تحمل کند. از طرفی چون گونه‌های دیگر تحمل این شرایط را ندارند احتمال حضورشان کاهش یافته و احتمال حضور این گونه افزایش می‌یابد. به‌طورکلی این گونه در خاک‌های فرسایش یافته و مکان‌هایی که میزان فرسایش سطحی شدید بوده بیشتر حضور دارد زیرا در این شرایط احتمال حضور سایر گونه‌ها کاهش یافته و *F. ovina* در رقابت با سایر گونه‌ها پیروز می‌شود. البته این گونه در شرایطی که خاک مناسب باشد می‌تواند در رقابت با سایر گونه‌ها شکست بخورد زیرا گیاهی است که کل مواد غذایی موردنیاز خود را از انتهای ریشه می‌گیرد یعنی در ناحیه یقه ریشه‌های ریز ندارد و هرچه ریشه گیاه به سمت عمق خاک نفوذ می‌کند ریشه باریک‌تر می‌شود و حالت دوکی پیدا می‌کند. این در حالی است که اگر شرایطی برای رشد سایر گونه‌ها مثل فورب‌ها و گراس‌ها با ریشه‌های افشان فراهم باشد این گونه‌ها قسمت اعظم مواد غذایی خاک را از افق‌های سطحی خاک می‌گیرند و تنها مواد غذایی که آبشویی می‌شود توسط ریشه این گونه جذب می‌شود. در این شرایط میزان دسترسی این گونه به مواد غذایی کمتر شده و در نتیجه در رقابت با سایر گونه‌ها شکست می‌خورد و احتمال حضور آن کاهش می‌یابد. احتمال حضور این گونه با ارزش در منطقه مطالعاتی با افزایش ارتفاع تا ۲۵۰۰ متر افزایش می‌یابد اما بعد از آن به ازای افزایش ارتفاع احتمال حضور آن کاهش داشته زیرا در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر میزان دسترسی گیاه به مواد غذایی کاهش می‌یابد.

در استان تهران در مطالعاتی ضمن بررسی آت اکولوژی گونه مرتعی کما (*F. ovina*)، حضور این گونه در خاک‌های با بافت لومی تا شنی، هدایت الکتریکی کمتر از یک دسی زیمنس بر متر، اسیدیته ۷ تا ۷,۵، سنگ‌هایی از نوع سیلت سنگ و رس سنگ (تشکیلاتی شیستی و رس‌های سخت شده) و جاهایی که از لحاظ شیب و درصد شیب محدودیتی ندارد گزارش شده است[۳].

محققین بعد از مطالعات انجام شده در حوضه وهرگان اصفهان اعلام کردند که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر گونه کما (*F.ovina*) بافت خاک، جهت شیب و شاخص رطوبتی است و این گونه عمدتاً در جهت‌های شمالی و شرقی که معمولاً بافت خاک سنگین می‌باشد حضور می‌یابند[۱۱].

طبق نقشه رویشگاه بالقوه و منحنی‌های عکس‌العمل ترسیم شده این گونه در میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۱- ۹ درجه سانتیگراد، شیب ۵۰-۲۵ درصد، ارتفاع ۳۰۰۰- ۱۹۵۰متر، کربنات کلسیم ۳۰-۱۰ درصد، ماده آلی ۶-۴ درصد، سیلت ۳۰-۱۰درصد، رس ۶۰-۴۵ درصد و درصد اشباع ۶۰-۴۵ درصد بیشترین احتمال حضور را دارد.

مدل تولید شده می‌تواند به‌منظور پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل جهت حضور گونه کما (*F.ovina*) از نظر اینکه چه مناطقی از لحاظ شرایط بوم‌شناسی مناسب حضور گونه هستند استفاده شود. البته در برخی مناطق ممکن است که مدل، پتانسیل رویشگاه را بالا نشان دهد اما به لحاظ مدیریتی شرایط برای استقرار گونه مناسب نبوده و فراوانی این گونه در این مناطق بالا نباشد که بایستی با اعمال مدیریت مناسب پس از کاشت بذور در این مناطق اجازه جوانه‌زنی به بذور و استقرار گونه در منطقه داده شود تا در رویشگاه های تخریب یافته این گونه اصلاح شوند. مطالعات از این نوع می‌تواند برای سایر گونه‌های مهم و کلیدی نیز انجام شده تا از آن‌ها در برنامه‌های اصلاح و احیا گونه‌های علوفه‌ای، دارویی و صنعتی استفاده گردد. رویشگاه‌های پتانسیل تعیین شده برای این گونه در این منطقه ممکن است در گذشته محل رویش گونه مذکور بوده، اما امروزه به دلیل تخریب‌های حاصل‌شده، شرایط نامساعد شده و گونه مذکور به به‌مرورزمان حذف شده است.

References

[1] Aliakbari, M., Jafari, R., Vahabi, M. R., and Saadatfar, A. (2011). Determining potential site for *Astragalus verus* with combination of GIS and remote sensing. *Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science*, 1, 15-29.

[2] Amoagheie, R. (2005). Dormancy breaking protocols for *(Ferula ovina)*. *Journal of Biology Department Shahrekord University*, 4, 1-3.

[3] Azheer, F. and Shahmoradi, A.A. (2008). Autecology of *Ferula ovina* in Tehran province. Iranian Journal of Range and Desert Research, 14(3), 359-367.

[4] Bassiri, M., Jalalian,A., Vahabi, M.R. (1980). *Seed production and study of native vegetation populations in Fereydan-Isfahan*. Agricultural Engineering Faculty, Isfahan University of Technology.

[5] Bio, A.M., De Becker, P., De Bie, E., Huybrechts, W. and Wassen, M. (2002). Prediction of plant species distribution in lowland river valleys in Belgium: modelling species response of site conditions. *Biodiversity and Conservation*, 11(12), 2189-2216.

[6] Brown, D. G. (1994). Predicting vegetation types at tree line using topography and biophysical disturbance variables. *Journal of Vegetation Science*, 5(5), 641-656.

[7] Franklin J. (1995). Predictive vegetation mapping: geographic modeling of bio spatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 19(4), 474-499.

[8] Guisan, A. and Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2), 147-186.

[9] Guisan, A. and Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993-1009.

[10] Hasti T. and Tibshirani, R. (1986). Generalized additive models. *Statistical science*, 1(3), 297-310.

[11] Iravani, M. Khajeddin, S.J. and Bassiri, M. (2000). Determination of the effective environmental factors on site selection of three range species in Vahregan river basin. The 2nd National Congress of Range and Range Management, Tehran. Iran.

[12] Moisen, G.G. and Frescino, T.S. (2002). Comparing five modeling techniques for predicting forest characteristics. *Ecological Modelling*, 157(2), 209-225.

[13] Moghimi J., (2005). *Introducing some important range species*. Arvan Press. 669 p.

[14] Nyberg, J.B., Marcot, B.G. and Sulyma, R. (2006). Using Bayesian belief networks in adaptive management. *Canadian Journal of Forestry Research*, 36(12), 3104-3116.

[15] Saki, M., Tarkesh, M., Bassiri, M. and Vahabi, M.R. (2012). Application of logistic regression tree model in determining habitat distribution of *Astragalus verus*. *Journal of Applied Ecology*, 1(2), 27-37.

[16] Tarkesh, M. and Jetschke, G. (2012). Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale, *Environmental and Ecological Statistics*, 19(3), 437-457.

[17] Vogiatzakis, I.N. (2003). *GIS-based modelling and ecology: a review of tools and methods*. Department of Geography, University of Reading.

[18] Zare Chahouki, M., Zare Ernani, M., Zare Chahouki, A. and Khalasi Ahvazi, L. (2010). Application of spatial statistical methods in predictive models of plant species habitat. *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 1(1), 13-24.

[19] Zaniewski, A.E., Lehmann, A. and Overton, J.M. (2002). Predicting species spatial distribution using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling*, 157(2), 261-280.