

## مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه کما (*Ferula ovina* (Boiss)) با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) مراتع نیمه‌استپی غرب استان اصفهان

مهسا قاضی مرادی<sup>۱</sup>، مصطفی ترکش<sup>۱\*</sup> و حسین بشری<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۶)

### چکیده

این مطالعه با هدف پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه کما (*Ferula ovina*) و تهیه منحنی‌های عکس‌العمل آن نسبت به متغیرهای محیطی با استفاده از روش خطی تعمیم‌یافته در منطقه فریدون شهر اصفهان انجام شد. داده‌های حضور و غیاب گونه کما به روش تصادفی طبقه‌بندی شده از ۲۷۸ سایت (۱۳۸ سایت حضور و ۱۴۰ سایت غیاب) جمع‌آوری شد. به منظور تهیه نقشه‌های طبقات ارتفاعی، جهت و شیب از نقشه رقومی ارتفاع و برای تولید نقشه‌های اقلیمی و خاک، داده‌های مربوط به ۷۰ پروفیل خاک و ۱۰ ایستگاه هواشناسی معرف منطقه مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از روش‌های میان‌یابی تعداد ۳۱ نقشه محیطی منطقه تولید شد. براساس نتایج حاصل از آنالیز مدل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته متوسط درجه حرارت سالانه، درصد سیلت، ماده آلی، درصد اشباع، کربنات کلسیم و ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان مؤثرترین عوامل محیطی انتخاب شد. ارزیابی مدل با استفاده از ضرایب آماری کاپا و سطح زیر منحنی پلات (AUC) به ترتیب برابر ۰/۷۹ و ۰/۸۳ به دست آمد. از نتایج این تحقیق می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در توسعه پایدار اکوسیستم‌های مرتعی، احیا، حفاظت و ارزیابی آنها استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، میان‌یابی، مدل پراکنش گونه‌ای، منحنی عکس‌العمل گونه‌ای

۱. گروه مرتع و آب‌بخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m\_tarkesh@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

مکانی گونه‌های گیاهی دارند و ضمن تهیه نقشه رویشگاه بالقوه گونه، منحنی‌های عکس‌العمل گونه نیز تولید می‌شود (۳ و ۱۲). در مطالعه حاضر رویشگاه بالقوه گونه با ارزش کما (*Ferula ovina*) در منطقه فریدون‌شهر اصفهان با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته بررسی شده است. هدف دیگر این مطالعه ترسیم منحنی‌های عکس‌العمل این گونه در گرادیان‌های مختلف محیطی است. این نوع مطالعات ارزش بسیار زیادی در پروژه‌های اصلاح و احیای مراتع دارند و می‌توان با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده مناطق مناسب احیای این گونه‌های گیاهی را تعیین کرد (۲۱ و ۲۲).

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مراتع شهرستان فریدون‌شهر در فاصله ۱۴۰ کیلومتری شهرستان اصفهان قرار دارد. وسعت محدوده مطالعاتی در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مربع است. متوسط بارندگی و درجه حرارت سالیانه منطقه به ترتیب حدود ۴۵۰ میلی‌متر و ۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد است. دامنه تغییرات ارتفاعی در منطقه بین ۳۹۸۷ و ۱۷۷۰ متر از سطح دریا تغییر می‌کند. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه از نوع مدیترانه‌ای است. خاک‌های منطقه دارای رژیم رطوبتی زیریک است که بیانگر زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک است (۱).

## گونه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های رخدادهای

گونه کما (*Ferula ovina*) گیاهی است چندساله و فورب، با ساقه‌ای به ارتفاع تا دو متر با ساقه بدون کرک و برگ‌های کرک‌آلود، دارای برگ‌های مرکب چهار بار شانه‌ای و گل‌آذین آن چتر مرکب با گل‌های زردرنگ است. کما از گونه‌های با ارزش حفاظتی، دارویی و علوفه‌ای است (۱۶). بذر این گونه دارای دوره خواب است و برای جوانه‌زدن نیاز به سرمادهی دارد (۲). مهم‌ترین رویشگاه‌های گیاه کما در ایران را ارتفاعات البرز و زاگرس تشکیل می‌دهند. در استان اصفهان نیز رویشگاه‌های کما به‌طور عمده در شهرستان‌های فریدون فریدون‌شهر و در دامنه‌های ارتفاعات زاگرس مرکزی

امروزه در عرصه اکولوژی گیاهی، تهیه نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای یا تیپ گیاهی همراه با رشد سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد توجه ویژه قرار گرفته است که به شناسایی رویشگاه بالقوه گونه‌های مختلف کمک فراوانی می‌کند (۶، ۱۱، ۱۸ و ۲۰). مدل‌های خطی تعمیم‌یافته و افزایشی تعمیم‌یافته رایج‌ترین مدل‌های آماری و پارامتریک است که برای پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گونه‌ها استفاده می‌شود (۱۳).

بایو و همکاران در تحقیقی مدل پیش‌بینی گونه‌های گیاهی را با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی تعمیم‌یافته و رگرسیون افزایشی تعمیم‌یافته تهیه کردند. در این پژوهش حضور گونه‌های گیاهی در پلات‌های ۱۰×۱۰ مترمربع اندازه‌گیری شد و خصوصیات خاک و آب زیرزمینی شامل اسیدیته، املاح کلسیم، منیزیم، سولفات، کلر، نترات، آمونیوم، فسفات، آهن و پتاسیم اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نقشه هر یک از خصوصیات گفته شده تولید شد. در ادامه برای هر گونه گیاهی رابطه رگرسیونی بین احتمال رخداد گونه‌های گیاهی و خصوصیات محیطی تعیین و بعد از تعمیم رابطه ریاضی به کل منطقه، نقشه احتمال حضور برای گونه‌های گیاهی تهیه شد (۷). در تحقیقی دیگر رابطه بین متغیرهای توپوگرافی، شیب، نور، برف و 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 (۸). در کشور بلژیک نیز برای پیش‌بینی توزیع گونه‌های گیاهی زمین‌های پست کنار رودخانه از مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم‌یافته و رگرسیون افزایشی تعمیم‌یافته استفاده شد. به این منظور از تعداد ۱۰ متغیر محیطی خاک و داده‌های حضور و غیاب گونه‌ها استفاده شد و نقشه متغیرهای محیطی با استفاده از روش کریجینگ تولید شد. نتایج ارزیابی با استفاده از ضریب کاپا و سطح زیر منحنی پلات‌های ROC در این مطالعه نشان داد که مدل‌های گفته شده توانایی خوبی در تهیه نقشه پیش‌بینی پراکنش

جدول ۱. لیست متغیرهای اقلیمی خاک و فیزیوگرافی برای پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه کما

متغیر	علامت	واحد	متغیر	علامت	واحد
حداقل دما در سردترین فصل	Min.c.q	درجه سانتی‌گراد	بارندگی در گرم‌ترین فصل	P.war.q	میلی‌متر
متوسط دما در مرطوب‌ترین فصل	T.wet.q	درجه سانتی‌گراد	واکنش خاک	pH	-
متوسط دما در خشک‌ترین فصل	T.D.Q	درجه سانتی‌گراد	مواد آلی	OM	درصد
متوسط دما در گرم‌ترین فصل	T.war.Q	درجه سانتی‌گراد	کربن آلی	OC	درصد
متوسط دما در سردترین فصل	T.C.Q	درجه سانتی‌گراد	بارندگی سردترین فصل	P.c.q	میلی‌متر
میانگین بارش سالانه	A.m.p	میلی‌متر	بارندگی فصلی	P.s	میلی‌متر
رطوبت اشباع	SP	درصد	درجه حرارت فصلی	T.s	درجه سانتی‌گراد
رس	Clay	درصد	دامنه‌ی درجه حرارت سالانه	T.r	درجه سانتی‌گراد
سیلت	Silt	درصد	میانگین دمای روزانه	D.m.t	درجه سانتی‌گراد
مناطق هم‌دما	Isotherm	درجه سانتی‌گراد	میانگین دمای سالانه	A.m.t	درجه سانتی‌گراد
بارندگی در خشک‌ترین ماه	P.d.m	میلی‌متر	کربنات کلسیم	CaCO <sub>3</sub>	درصد
بارندگی در مرطوب‌ترین ماه	P.wet.q	میلی‌متر	شیب	Slope	درصد
بارندگی در خشک‌ترین فصل	P.d.q	میلی‌متر	ارتفاع	DEM	متر
بارندگی در مرطوب‌ترین فصل	P.wat.q	میلی‌متر			

### نقشه‌های محیطی

داده‌های آب‌وهوایی مربوط به ۱۹ خصوصیت اقلیمی منطقه مورد مطالعه، از ایستگاه‌های (کلیماتولوژیک) معرف هواشناسی منطقه فریدون‌شهر و مناطق مجاور آن استخراج شد (جدول ۱). اطلاعات مربوط به ۷۰ پروفیل خاک حفر شده در منطقه فریدون‌شهر تا عمق ۷۰ سانتی‌متر نیز تهیه شد (جدول ۱). نقشه پارامترهای خاک و عوامل اقلیمی نیز از طریق روش‌های مختلف میان‌یابی تهیه شد. بدین منظور ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کلموگروف - اسمیرنوف در نرم‌افزار مینی تب ۱۵ بررسی شد. سپس داده‌هایی که نرمال نبودند با توجه به نوع چولگی با روش‌های تبدیل لگاریتم، جذر، توان یا روش کاکس باکس نرمال شدند. در ادامه با استفاده از مدل‌های مختلف واریوگرام (گوسی، نمایی، کروی و خطی) آنالیز همبستگی مکانی پارامترهای محیطی بررسی شد و بهترین مدل واریوگرام با توجه به مجذور میانگین مربعات

واقع شده است (۵). به منظور جمع‌آوری داده‌های حضور و غیاب گونه از نقشه تیپ‌های گیاهی استان اصفهان که در سال ۱۳۹۲ در طرح شناخت مناطق اکولوژیک توسط موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شده بود به‌عنوان نقشه پایه استفاده شد (۹). مرزهای تیپ‌های گیاهی که گونه کما در آن به‌عنوان گونه غالب حضور داشت بررسی شد و با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی و سایت‌های حضور و عدم حضور گونه کما انتخاب شد. به این منظور نقشه‌ای شامل لایه‌های فیزیوگرافی با ۱۴۷ منطقه همگن که حاصل تلفیق سه طبقه ارتفاعی، شش طبقه شیب و ۹ طبقه جهت است، تهیه شد. در گام بعدی با تلفیق از این نقشه و نقشه تیپ‌های گیاهی، بر اساس مساحت اختصاص یافته به هر طبقه همگن و به‌شکل تصادفی ۲۷۸ سایت مطالعاتی شامل ۱۳۷ سایت حضور و ۱۴۱ سایت عدم حضور مشخص شد که صحت نقاط ذکر شده با بازدید صحرایی تأیید شد.

متفاوت است. به‌طور عمده دو روش برای ارزیابی مدل وجود دارد:  $t_1$  استفاده از یک مجموعه داده برای ساخت مدل و سپس ارزیابی مدل با همان داده‌ها (روش جانشینی)،  $t_2$  استفاده از دو مجموعه داده مجزا، یک مجموعه داده برای ساخت مدل و مجموعه دیگر شامل داده‌های مستقل برای ارزیابی مدل است (۱۰). برای ارزیابی پیش‌بینی مدل نسبت به واقعیت زمینی از جدول ماتریس خطا و اندیس‌های مشتق شده از آن استفاده شد. بدین منظور تعداد ۵۰ سایت مستقل انتخاب (شامل ۲۵ سایت حضور و ۲۵ سایت غیاب) و مقادیر شاخص کاپا (K) و سطح زیر منحنی پلات با استفاده از نرم‌افزار MEP تعیین شد (۲۰).

## نتایج

### مدل واریوگرام

برای هر متغیر محیطی بر اساس مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا، بهترین مدل واریوگرام انتخاب شد. در جدول ۲ مقادیر اثر قطعه‌ای، دامنه و سقف بهترین مدل واریوگرام برای چهار متغیر ورودی نشان داده شده است. شکل ۱ بیانگر مدل واریوگرام نمایی درصد سیلت است.

### 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 (جدول ۳). به‌عنوان نمونه شکل (۲) نقشه درصد سیلت تولید شده را با استفاده از روش کریجینگ معمولی نشان می‌دهد که دامنه تغییرات آن بین ۲۰ تا ۶۲ درصد است.

معادله کلی مدل به صورت معادله ۲ بوده و جدول تجزیه واریانس آن در جدول شماره ۴ آورده شده است.:

خطا انتخاب و مقادیر اثر قطعه‌ای و دامنه برای هر یک از متغیرهای محیطی مشخص شد. به‌منظور ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها از نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه استفاده شد. با توجه به شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و همچنین خطای مجذور میانگین (RMSE) بهترین روش میان‌یابی برای هر متغیر تعیین شد. هر روشی که کمترین مقدار شاخص‌ها را داشت به‌عنوان بهترین روش میان‌یابی انتخاب شد (۱۹).

### مدل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته

در این مطالعه از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (Generalized Linear Model = GLM) برای پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گونه کما استفاده شد. در مدل خطی تعمیم‌یافته مشکلات مربوط به متغیرهای وابسته به‌وسیله تبدیلات منطقی همچون تبدیل لگاریتمی برطرف می‌شود و پارامترهای مدل به‌وسیله روش حداقل مربعات خطا تعیین می‌شود. لازم به‌ذکر است تابع توزیع متغیر وابسته بسته به نوع آن تعیین می‌شود. چنانچه متغیر وابسته شمارشی باشد از توزیع پواسون و اگر از نوع حضور و غیاب باشد از توزیع باینومیل استفاده می‌شود (۱۳)

در مدل خطی تعمیم‌یافته  $Y$  بیانگر متغیرهای وابسته  $X$  نشان‌دهنده متغیرهای مستقل و  $\mu$  توزیع وابسته به متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد (معادله ۱):

$$E(Y) = \mu = g^{-1}(X\beta) \quad (1)$$

$$g(\mu_i) = \eta_i = \alpha + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik}$$

که در این معادله:  $E(Y)$ : ارزش  $Y$ ،  $X\beta$ : پیش‌بینی‌کننده خطی و  $g$  و  $\beta$ : توابع وابسته است.

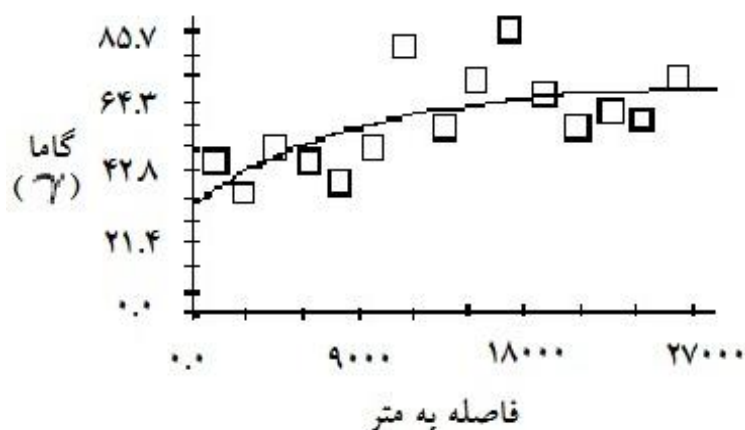
### ارزیابی مدل

برحسب هدف مطالعه و کاربرد مدل نوع روش ارزیابی

$$y = \frac{e^{-12/84 + 0/18Sp - 0/16Silt - 0/46Om + 0/01Dem - 0/84Caco3 + 0/03Amt}}{1 + e^{-12/84 + 0/18Sp - 0/16Silt - 0/46Om + 0/01Dem - 0/84Caco3 + 0/03Amt}} \quad (2)$$

جدول ۲. اجزای مربوط به واریوگرام متغیرهای وارد شده به مدل

پارامتر	مدل تغییر نما	اثر قطعه‌ای (C0)	آستانه (C+C0)	C0/(C+C0)	کلاس وابستگی	RMSE
سیلت	نمایی	۳۳	۷۰/۶۶	۰/۴۶	متوسط	۶/۷
کربنات کلسیم	کروی	۰/۲۰	۲/۱۶	۰/۰۹	قوی	۱/۱۳
درصد اشباع	نمایی	۲۴/۵	۱۰۸/۱	۰/۲۲	قوی	۹/۲۶
میانگین درجه حرارت سالیانه	گوسین	۰/۵۰	۸/۹۱	۰/۰۵۶	قوی	۰/۹۹



شکل ۱. مدل واریوگرام تولید شده درصد سیلت.

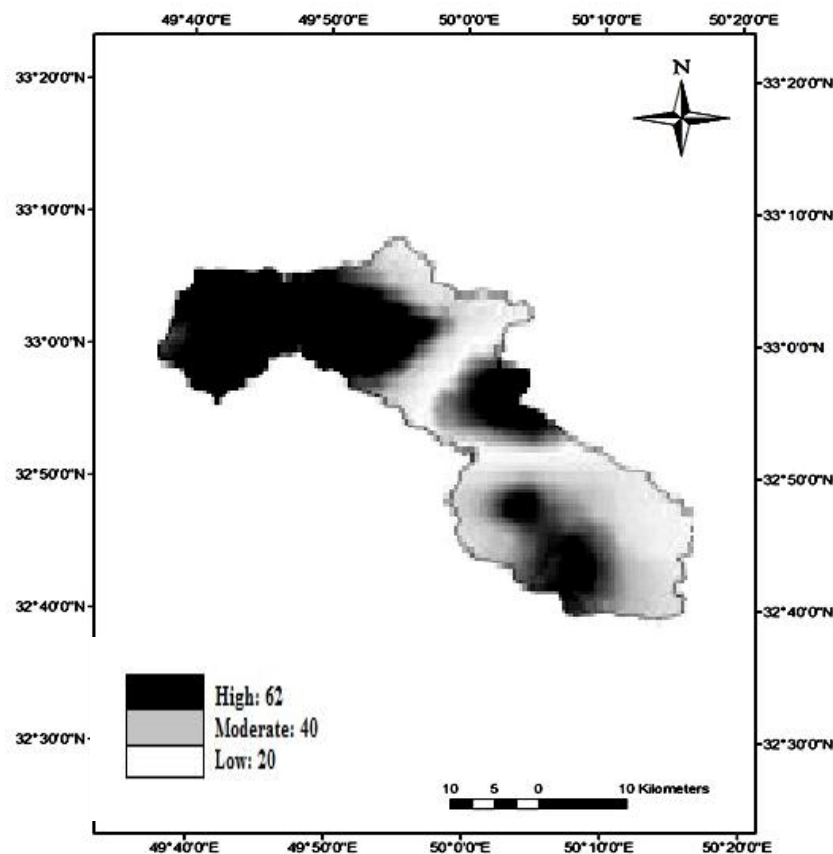
جدول ۳. بهترین مدل میان‌یابی انتخاب شده برای تهیه نقشه متغیرهای محیطی

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

### نقشه پراکنش گونه کما

مدل پیش‌بینی احتمال حضور گونه کما بر اساس مدل خطی تعمیم‌یافته با توجه به عامل‌های محیطی منتخب ترسیم شد. در فرایند انتخاب عامل‌های محیطی عواملی که با سایر متغیرها همبستگی کم و غیرمعنی‌داری داشتند انتخاب شدند. بدین ترتیب از ۳۱ عامل محیطی مطالعه شده، چهار متغیر خاک (میزان ماده آلی، درصد اشباع، کربنات کلسیم و درصد سیلت) و یک متغیر فیزیوگرافی (ارتفاع) و یک متغیر اقلیمی (میانگین درجه حرارت سالیانه) وارد فرایند مدل‌سازی شد (شکل ۳).

طبق نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه، مساحت طبقه ضعیف رویشگاه (احتمال حضور ۰/۱ تا ۰/۳) حدود ۱۲۹۷۰ هکتار ۱۳ درصد کل منطقه و طبقه متوسط رویشگاه (احتمال حضور ۰/۳ تا ۰/۵) حدود ۲۴۷۶/۱ هکتار و ۲۵ درصد کل منطقه و مساحت طبقه خوب رویشگاه (احتمال حضور ۰/۵ تا ۰/۷) حدود ۳۰۳۲۹ هکتار ۳۰ درصد کل منطقه و مساحت طبقه عالی رویشگاه (احتمال حضور ۰/۷ تا ۱) حدود ۳۱۸۱۷/۲ هکتار و ۳۲ درصد کل منطقه را دربرمی‌گیرد.



شکل ۲. نقشه درصد سیلت تولید شده با استفاده از روش کریجینگ معمولی

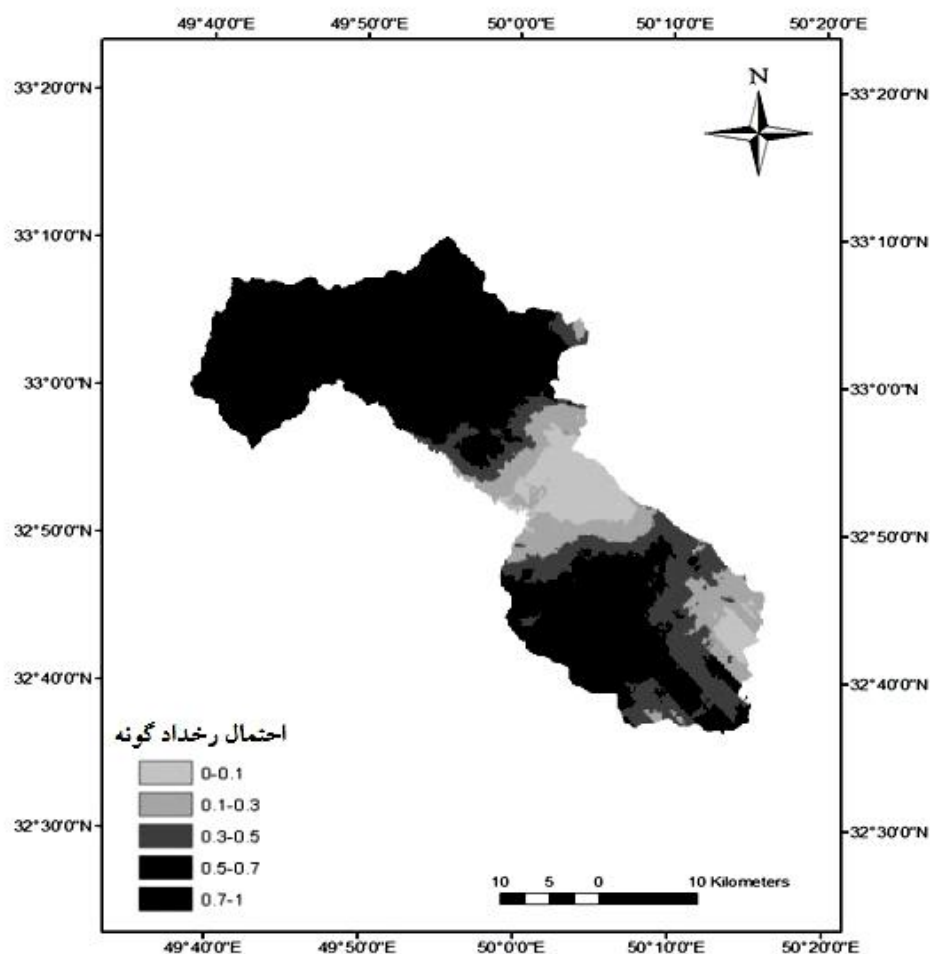
جدول ۴. جدول تجزیه واریانس مدل خطی تعمیم یافته

P-value	ضرایب	انحراف معیار	متغیر
۰/۰۰۲	-۱۲/۸۴	۴/۱۶	ضریب ثابت
۰/۰۰۱	۰/۱۸۲	۰/۰,۵	درصد اشباع
۰,۰,۰	-۰/۱۶	۰/۰۴	سیلت
۰/۱۰	-۰/۴۶	۰/۲۸	ماده آلی
۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۶	ارتفاع
۰/۰۰۲	-۰/۸۴	۰/۲۷	کربنات کلسیم
۰/۰۰	۱/۰۳	۰/۱۳	میانگین درجه حرارت سالانه

#### ارزیابی مدل رگرسیون خطی تعمیم یافته

نتایج حاصل از ارزیابی نقشه پراکنش گونه کما با استفاده از داده‌های مدل رگرسیون خطی تعمیم یافته (روش جایگزینی) و ماتریس خطا نشان داد که مدل پیش‌بینی شده دارای مقدار ضریب کاپای ۰/۷۹ و تطابق خوب است. همچنین روش سطح زیر منحنی پلات (AUC) با مقدار ۰/۸۳ تطابق قابل قبول با

واقعیت زمینی نشان داد. نتایج ارزیابی با استفاده از داده‌های مستقل و ماتریس خطا نیز نشان داد که بر اساس طبقه‌بندی سوئیتس ولندیس مدل از تطابق خوب با واقعیت زمینی برخوردار است (جدول ۵). همان‌طور که در جدول مشخص است سلول اول بیانگر ۱۶ مشاهده حضور گونه کما در دنیای واقعی است که مدل نیز توانسته است آنرا بدرستی به‌عنوان



شکل ۳. نقشه پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه کما (*Ferula ovina*) در منطقه مطالعاتی فریدون‌شهر اصفهان

جدول ۵. ماتریس خطای حاصل از ارزیابی مدل GLM با استفاده از روش مستقل و جایگزینی

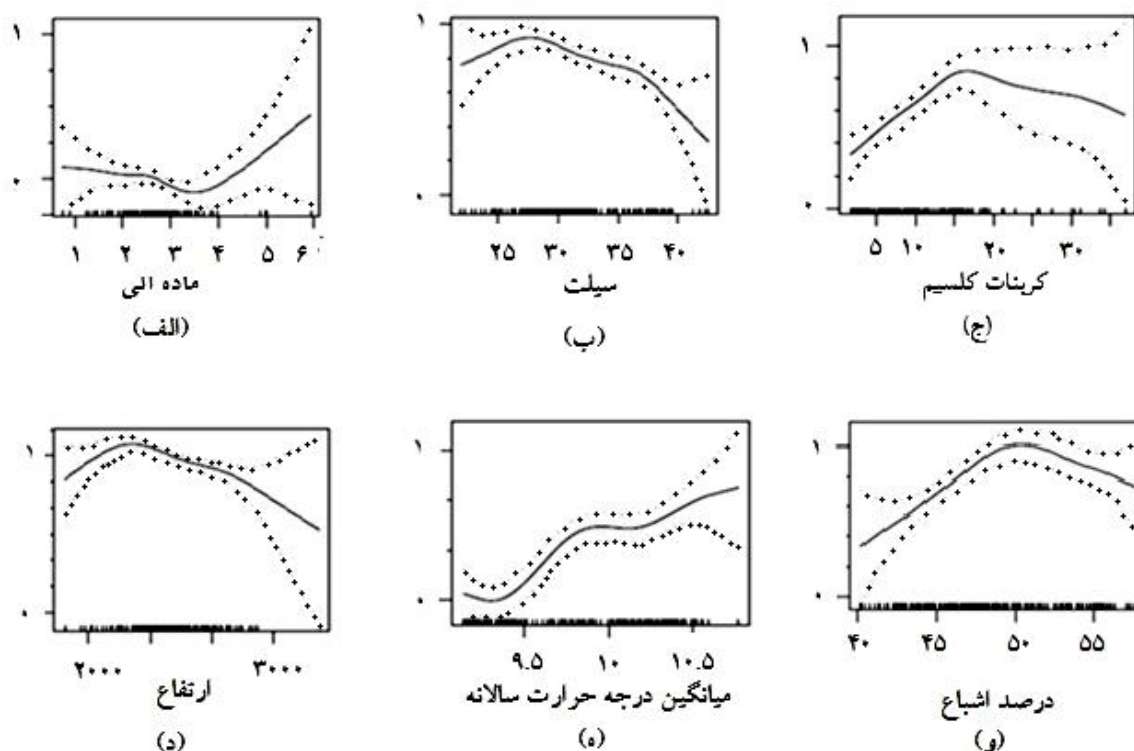
ارزیابی با استفاده از روش جایگزینی		ارزیابی با استفاده از روش مستقل		
غیاب	حضور	غیاب	حضور	
۲۶	۱۱۰	۳	۱۶	حضور مشاهده شده در واقعیت زمینی
۲۷	۱۱۵	۲۲	۹	غیاب مشاهده شده در واقعیت زمینی

متغیرهای متوسط درجه حرارت سالانه، درصد سیلت، میزان ماده آلی، درصد اشباع و ارتفاع از سطح دریا در رخداد و پراکنش گونه کما تأثیر بسزایی دارند. حضور گونه کما با میزان سیلت در منطقه مطالعاتی دارای روند تقریباً معکوس است یعنی با افزایش درصد سیلت، احتمال رخداد گونه کاهش می‌یابد. (شکل ۴ قسمت ب). رخداد گونه با ارتفاع از سطح دریا، میزان ماده آلی،

حضور پیش‌بینی کند ولی عدد ۳ بیانگر تعداد مشاهده حضور گونه در دنیای واقعی است که توسط مدل به‌عنوان غیاب در نظر گرفته شده است.

#### بحث

نتایج این تحقیق نشان داد از بین عامل‌های محیطی مورد بررسی،



شکل ۴. منحنی عکس‌العمل متغیرهای محیطی (اقلیمی، خاک و فیزیوگرافی) مورد مطالعه (خطوط خط‌چین نشان‌دهنده فاصله اطمینان و خط ممتد نشان‌دهنده تغییرات متغیر محیطی نسبت به حضور و غیاب گونه مذکور است)

عوامل مؤثر بر گونه کما در منطقه وهرگان استان اصفهان بافت خاک، جهت شیب و شاخص رطوبتی بوده است و این گونه عمدتاً جهت‌های شمالی و شرقی که بافت سنگین دارند را به‌عنوان رویشگاه انتخاب می‌کند (۱۴). بالعکس در شرایطی که خاک مناسب بوده و عمق خاک زیاد باشد گونه کما سریع در رقابت با سایر گونه‌ها شکست می‌خورد زیرا این گیاه مواد غذایی مورد نیاز خود را از بخش‌های انتهایی ریشه جذب می‌کند. به‌عبارت دیگر این گونه در ناحیه یقه و نزدیک خاک فاقد ریشه‌های ریز و فرعی بوده و هرچه ریشه گیاه به‌سمت عمق خاک نفوذ می‌کند ریشه باریک‌تر 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 کما جذب می‌شود. در این شرایط میزان دسترسی کما به مواد غذایی کمتر شده و در رقابت با سایر گونه‌ها شکست می‌خورد و

درصد اشباع خاک و میانگین درجه حرارت سالانه همبستگی مستقیم دارد. گونه کما به‌دلیل داشتن ریشه‌های قوی و ضخیم می‌تواند شرایط سنگلاخی، خاک‌های فرسایش یافته را تحمل کند زیرا در این شرایط احتمال حضور سایر گونه‌ها کاهش یافته و کما در رقابت با آنها موفق‌تر است. البته در منطقه مطالعاتی بافت با میزان سیلت در منطقه مطالعاتی دارای روند تقریباً معکوس است یعنی با افزایش درصد سیلت، احتمال رخداد گونه کاهش می‌یابد. رخداد گونه با ارتفاع از سطح دریا، میزان ماده آلی، درصد اشباع خاک و میانگین درجه حرارت سالانه همبستگی مستقیم دارد. گونه کما به‌دلیل داشتن ریشه‌های قوی و ضخیم می‌تواند شرایط سنگلاخی، خاک‌های فرسایش یافته را تحمل کند زیرا در این شرایط احتمال حضور سایر گونه‌ها کاهش یافته و کما در رقابت با آنها موفق‌تر است. البته در منطقه مطالعاتی بافت خاک حتی در مناطق کوهستانی که رویشگاه گونه مزبور است نیز به‌دلیل داشتن میزان رس نسبتاً بالا تا حدی سنگین است. بر اساس مطالعه انجام شده توسط ایروانی و همکاران مهم‌ترین



اختیار گذاشتن عناصر نقش مهمی ایفا می‌کنند. در مطالعه آذیر و شاهمرادی به بررسی آت اکولوژی گونه مرتعی کما در استان تهران پرداخته شد و بیان داشتند که حضور این گونه در خاک‌های با بافت لومی تا لومی شنی، هدایت الکتریکی کمتر از یک دسی‌زیمنس بر متر، pH ۷ تا ۷/۵، سنگ‌هایی از نوع سیلت سنگ ورس سنگ و جاهایی که از لحاظ شیب و درصد شیب محدودیتی ندارد (۴). جعفری و همکاران ضمن بررسی رابطه خصوصیات خاک با پراکنش گونه‌های گیاهی در قم دریافتند که گیاه کما به‌عنوان یکی از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه روی اراضی کوهستانی و صخره‌سنگی مشاهده شد و این گیاه تحت تأثیر میزان آهک، درصد شن و هدایت الکتریکی خاک قرار داشت (۱۵). این تحقیق نشان داد که حضور گونه کما با میزان ماده آلی رابطه مستقیم دارد یعنی هرچه ماده آلی بیشتر می‌شود، حضور گونه کما هم بیشتر می‌شود (شکل ۴-الف). طبق شکل بین میانگین درجه حرارت سالانه در محدوده دامنه ۹/۵ تا ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد در احتمال حضور گونه کما یک روند افزایشی مشاهده می‌شود. به‌عبارت دیگر افزایش میانگین درجه حرارت سالانه تا یک حدی باعث افزایش احتمال حضور گونه کما می‌شود و بعد آن اثر معکوس دارد (شکل ۴).

نتایج این تحقیق در جهت اصلاح و احیای پوشش گیاهی مناطق با شرایط مشابه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین از نتایج این تحقیق می‌توان برای تهیه نقشه پوشش گیاهی در معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتع نظیر بذرکاری و بونه‌کاری و... استفاده کرد. در کشت گونه کما در مناطق مشخص شده به‌عنوان رویشگاه خوب باید به مواردی از قبیل رقابت گونه‌های گیاهی، نوع دام بهره‌برداری کننده و میزان فرسایش خاک منطقه توجه خاصی مبذول داشته شود. ممکن است در محلی که این گونه توصیه شده باشد، شرایط مناسب‌تری برای رشد سایر گونه‌ها باشد که قابلیت رقابت بهتری نسبت به کما داشته باشند و عمل بذرکاری با شکست مواجه شود. گونه کما حتی روی خاک‌هایی که فرسایش سطحی شدید در آنها اتفاق افتاده به خوبی رشد می‌کند و این به‌دلیل داشتن ریشه‌های قوی این گونه است که می‌تواند حتی

احتمال حضور آن کاهش می‌یابد. درصد سیلت خاک به‌عنوان جزئی از بافت خاک نیز از عوامل تعیین‌کننده بر پراکنش گونه مورد مطالعه است. این گونه در منطقه مطالعاتی، مناطق با بافت‌های سنگین و نسبتاً سنگین را به بافت‌های متوسط و سبک ترجیح می‌دهد که می‌تواند دلیل آن ظرفیت نگهداری بیشتر آب در خاک‌های رسی باشد. خاک تقریباً منبع اصلی همه مواد معدنی ضروری برای رشد ارگانسیم‌ها است. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با آب و هوا و نوع پوشش گیاهی که در آن به‌وجود می‌آید تغییر می‌کند. این ویژگی‌های خاک تأثیر فراوانی بر نحوه رشد، جوانه‌زنی و الگوی پراکنش گیاهان دارند (۱۷). احتمال حضور گونه کما در منطقه مطالعاتی با افزایش ارتفاع تا ۲۵۰۰ متر افزایش می‌یابد اما بعد از آن به‌ازای افزایش ارتفاع احتمال حضور آن کاهش داشته زیرا در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر از سطح دریا میزان دسترسی گیاه به مواد غذایی کاهش می‌یابد و شرایط دمایی که با ارتفاع همبستگی منفی دارد نیز باعث محدودیت تکمیل چرخه زندگی گیاه می‌شود (شکل ۴). از نظر شرایط خاک با افزایش میزان کربنات کلسیم خاک تا ۱۰ درصد، احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد ولی بعد از آن به‌ازای افزایش کربنات کلسیم 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 بهم خوردن تعادل و مقدار یون‌ها می‌شود (شکل ۴-ج). مقیمی بیان کرد که این گیاه به‌طور عمده در شرایط اقلیمی با بارش سالیانه ۴۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متری و متوسط درجه حرارت سالیانه ۴/۵ تا ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد و pH خشی تا کمی قلیایی انتشار دارد (۱۶). با افزایش درصد اشباع خاک تا ۵۰ درصد احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد اما بعد از آن به‌ازای افزایش درصد اشباع خاک احتمال حضور کاهش می‌یابد زیرا در این شرایط احتمال میزان تهویه کاهش می‌یابد و احتمال خفگی گیاه افزایش می‌یابد (شکل ۴-و). 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 به‌دلیل داشتن صفات جذب سطحی، تا حد زیادی در نگهداری عناصر تبدلی و در

مدل، پتانسیل رویشگاه را بالا نشان دهد اما به لحاظ نوع مدیریت حاکم (تبدیل مراتع به دیمزار و چرای بیش از ظرفیت و بهره‌برداری مفرط) شرایط برای استقرار گونه کما مناسب نبوده و فراوانی این گونه در این مناطق بالا نباشد. باید با اعمال مدیریت مناسب پس از کاشت بذور اجازه جوانه‌زنی به بذور و استقرار گونه در منطقه داده شود تا در رویشگاه‌های تخریب‌یافته این گونه تجدید حضور یابد. استفاده از روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای می‌تواند راهکاری برای تولید نقشه پراکنش گونه‌هایی باشد که نقشه پراکنش آنها در دسترس نبوده و این گونه‌ها دارای ارزش حفاظتی، صنعتی و دارویی هستند.

شرایطی را که خاک کاملاً افق سطحی را از دست داده را تحمل کند. اما در مناطقی که خاک میزان فرسایش سطحی آن کم می‌شود به دلیل ضعف بودن در رقابت با گونه‌های دیگر سریعاً حذف می‌شود. در نتیجه می‌توان با کشت این گونه از روند صعودی فرسایش خاک در حوضه مورد مطالعه جلوگیری کرد.

### نتیجه‌گیری

مدل تولید شده می‌تواند به‌منظور پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل حضور گونه کما استفاده شود و در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد. البته در برخی مناطق ممکن است که

### منابع مورد استفاده

1. Aliakbari, A., R. Jafari, M. R. Vahabi and A. Saadatfar. 2011. Determining the potential habitat of *Astragalus verus* with the integration of GIS and remote sensing. *Journal of Applied GIS and Remote Sensing in Natural Resources*. 1: 15-27. (In Farsi).
2. Amoagheie, R. 2005. Dormancy breaking protocols for *Ferula ovina*. Proceedings of the Fourth International Iran & Russia Conference, Sharekord, Iran, 709-712.
3. Ana, M., F. Becker, P. Bie, B. Hybrechts and W. Wassen. 2002. Prediction of plant species distribution in lowland river valleys in Belgium: Modeling species response to site condition. *Biodiversity and Conservation* 12: 2189-2216.
4. Azhir, F. and A. Shahmoradi. 2007. Autecology of *Ferula ovina* Boiss. in Tehran Province. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 14(3): 359-367. (In Farsi).
5. Bassiri, M., A. Jalalian and M. R. Vahabi. 1989. Studies on habitat condition & need production of native range plants in Fereydan Region. Project Report, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, 156 p (In Farsi).
6. Beauvais, G., P. Thurston and D. Keinath. 2004. Predictive range maps for 5 species of management concern in southwestern Wyoming, Report prepared for the U.S. Geological Survey-National Gap Analysis Program by the Wyoming Natural Diversity Database-University of Wyoming. Laramie, Wyoming, USA, 11 p.
7. Bio, A. M., P. De Becker, E. De Bie, W. Huybrechts and M. Wassen. 2002. Prediction of plant species distribution in lowland river valleys in Belgium: modelling species response to site conditions. *Biodiversity and Conservation* 11 (12): 2189-2216.
8. Brown, D. G. 1994. Predicting vegetation types at treeline using topography and biophysical disturbance variables. *Journal of Vegetation Science* 5(5): 641-656.
9. Feizi, M. T. 2013. The project of identification of ecological regions of Isfahan Province. Research Report. Research Institute of Forests and Rangelands, 261 p (In Farsi).
10. Franklin, J. 1995. Predictive vegetation mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradient. *Progress in Physical Geography* 19(4): 474-499.
11. Guisan, A. and N. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135(2): 147-186.
12. Guisan, A. and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8(9): 993-1009.
13. Hasti, T. and R. Tibshirani. 1986. Generalized additive models. *Statistical Science* 1(3): 297-310.
14. Irvani, M., S. J. Khajeddin and M. Bassiri. 2000. Determination of the effective environmental factors on site selection of three range species in Vahregan river basin. The 2nd National Congress and Range Management, Tehran, Iran. (In Farsi).
15. Jafari, M., M. A. Zare Chahooki, H. Azarnivand, N. Baghestani Meibodi and Gh. Zahedi. 2003. Relationships between Poshtkouh rangeland vegetation of Yazd province and soil physical and chemical characteristics using multivariate analysis methods. *Iranian Journal of Natural Resources* 55(3): 419-434. (In Farsi).

16. Moghimi, J. 2005. Introduction of some important range species suitable for the development and improvement of rangelands in Iran. Technical Office of Rangeland, Arvan Publishers, Iran, Tehran. (In Farsi).
17. Nasrollahi, A. 1998. Investigating physico-chemical condition of soil characteristics to identify indicator species, MSc Thesis in Tehran University. (In Farsi).
18. Nieto-Lugilde, D., K. C. Maguire, J. L. Blois, J.W. Williams and M.C. Fitzpatrick. 2018. Multi-response algorithms for community-level modelling: Review of theory, applications, and comparison to species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution* 9(4): 834-848.
19. Saki, M., M. Tarkesh, M. Bassiri and M. R. Vahabii. 2013. Application of logistic regression tree model in determining habitat distribution of *Astragalus verus*. *Iranian Journal of Applied Ecology* 1(2): 27-38. (In Farsi).
20. Tarkesh, M. and G. Jetshcke. 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. *Environmental and Ecological Statistics* 19(3): 437-457.
21. Vogiatzakis, I. N. 2003. GIS-based modelling and ecology: a review of tools and methods. Department of Geography, University of Reading.
22. Zaniwski, A. E., A. Lehmann and J. M. Overton. 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native NewZealand ferns. *Ecological Modelling* 157(2): 261-280.

## Modeling the potential habitat of *Ferula ovina* (Boiss) using Generalized Linear Model in Semi-Steppe rangelands of Western Isfahan

M. Ghazimoradi<sup>1</sup>, M. Tarkesh<sup>1\*</sup> and H. Bashari<sup>1</sup>

(Received: March 29-2017; Accepted: May 27-2019)

### Abstract

This study was aimed to predict the potential distribution of *Ferula ovina* (Boiss) in Feridoonshar, in the western part of Isfahan province, and to produce species response curves in relation to the environmental variables using the Generalized Linear Model (GLM). The presence and absence of the species in 278 sites (including 138 presence sites & 140 absence sites) were collected using random stratified sampling. Digital elevation model was used to produce elevation classes, aspect and slope maps. Seventy soil profiles and 10 climate stations data were used to produce 31 environmental maps including climate and soil maps using kriging methods. According to the results, the presence of *Ferula ovina* was correlated with silt percent, average annual temperature, elevation, organic matter content, soil saturation percentage and CaCO<sub>3</sub> content. The produced species distribution model had high accuracy, as indicated by calculated Kappa coefficient (0.79) and ROC area under curve plots (0.83). The result of this study can be, therefore, used in the rehabilitation and restoration of this valuable species in the rangeland ecosystems.

**Keywords:** Geographic information system, Interpolation, Species distribution model, Species response curve

1. Dept. of Natur. Resour., Isf. Univ. of Technol, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: m\_tarkesh@cc.iut.ac.ir