

مدلسازی رویشگاه بالقوه گونه کما (*Ferula ovina*) در حال حاضر و سالیهای آینده با استفاده از مدل افزایشی تعمیم یافته (مطالعه موردی: فریدونشهر اصفهان)

مهسا قاضی مرادی^{۱*} و عطاالله ابراهیمی^۲

*۱- دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهر کرد، ایران، پست الکترونیک: m.ghazimoradi@na.iut.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهر کرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۲

چکیده

ارزیابی رویشگاه بالقوه و مطالعه پراکنش جغرافیایی گونه‌ها یک موضوع کلیدی در بسیاری از مطالعات اکولوژیکی، حفاظت محیط‌زیست، حیات وحش و همچنین ارزیابی روند تغییرات در مقیاس‌های مختلف است. در این راستا، نتایج این تحقیق نشان داد که در سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ به ازای ثابت ماندن تمامی فاکتورهای اقلیمی به غیر از میانگین درجه حرارت سالیانه، احتمال باقی ماندن گونه کما افزایش یافته، به عبارت دیگر احتمال رخداد آن بیشتر شده است. میزان مساحت رویشگاه در طبقه‌ای که بیشترین احتمال حضور گونه وجود دارد در حال حاضر حدود ۱۲۹۷۰ هکتار در فریدونشهر اصفهان می‌باشد که در سال ۲۰۳۰ به حدود ۲۷۱۵۷/۳ هکتار و در سال ۲۰۸۰ به حدود ۳۱۰۳۶/۹ هکتار می‌رسد که این نشان‌دهنده این مطلب است که افزایش میزان میانگین درجه حرارت سالانه در سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ نسبت به حال حاضر اثر مثبتی بر حضور گونه در رویشگاه‌های مورد مطالعه خواهد داشت. زیرا طبق نتایج به دست آمده در منحنی‌های واکنش، با افزایش درجه حرارت سالانه احتمال حضور گونه کما افزایش می‌یابد. از نتایج این تحقیق می‌توان در جهت اصلاح و احیا پوشش گیاهی مناطق با شرایط مشابه استفاده کرد که یکی از دستاوردهای مهم این تحقیق است.

واژه‌های کلیدی: مدل پراکنش گونه‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تغییر اقلیم.

مقدمه

نیوتن و ترمودینامیک هستند. این مدلها به‌طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی آب و هوا، فهم اقلیم و پیش‌بینی تغییر اقلیم استفاده می‌شوند. هدف از ساخت این مدلها شبیه‌سازی تمامی ویژگی‌های سه‌بعدی اقلیم بوده و بدین‌دلیل این مدلها جامع‌ترین مدل‌های اتمسفری و بهترین شیوه برای پیش‌گویی اقلیم آینده و گذشته می‌باشند (Austin, 2002). مدل‌های اقلیم دارای ۵ گروه اصلی هستند، این گروه‌ها عبارتند از: مدل سازمان هواشناسی (UKMO)، مدل مؤسسه مطالعاتی فضایی گودارد (GISS)، مدل مرکز ملی تحقیقات اتمسفری (NCAR)، مدل آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیکی

تغییر اقلیم به معنای تغییرات درازمدت در آمارهای آب و هوایی می‌باشد. اواخر قرن ۲۰ و اوایل قرن ۲۱ گرم‌ترین دوره‌ها در میان دماهای ثبت شده برای زمین هستند که از اواسط قرن ۱۹ شروع شده است (Bourg et al., 2005). متوسط جهانی دمای سطح زمین و سطح دریا بین سالهای ۱۹۰۴ تا ۲۰۰۵، ۰/۴۷ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده است و پیش‌بینی شده که ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد برای سالهای ۲۰۹۰ تا ۲۰۹۹ افزایش یابد. مدل‌های گردش عمومی در واقع حل معادلات حاکم بر جو بر اساس قوانین

مطالعات اندکی در زمینه اثر تغییر اقلیم بر روی پراکنش گونه‌های گیاهی انجام شده است. از جمله مطالعات مدلسازی پراکنش گونه‌ها و اثر تغییر اقلیم بر گونه‌های گیاهی، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: Esmaili و همکاران (۲۰۰۱) به مطالعه ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته‌دار بادام و زردآلو در خراسان رضوی پرداختند. آنان با استفاده از داده‌های ریزمقیاس مدل گردش عمومی جو (ECHO-G) پیامدهای تغییر اقلیم بر گونه‌های مذکور در دوره زمانی (۱۳۸۹-۱۴۱۸) را مطالعه نمودند. نتایج این پژوهش حکایت از آن دارد که به‌طور متوسط تاریخ وقوع یخبندان‌های دیررس سبک، ۱۳ روز و یخبندان‌های سنگین، ۷ روز زودتر از میانگین بلندمدت اقلیمی در منطقه مطالعاتی به پایان خواهد رسید. نتایج پهنه‌بندی که بر اساس مطابقت تاریخ وقوع دماهای بحرانی با تقویم زراعی بادام و زردآلو در دوره‌های اقلیمی آینده نشان داده شده، منطقه وسیعی از خراسان رضوی از جمله تربت‌حیدریه که تولیدکننده عمده بادام استان است، در منطقه خطر قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج بدست‌آمده شهرستان چناران، مشهد و نیشابور که تولیدکننده اصلی زردآلو هستند نیز محدودیت توسعه دارند Esmaili et al. (2001). Thomas و همکاران (۲۰۱۰) به پیش‌بینی رویشگاه مناسب برای گونه‌های کمیاب تحت سناریوی گرم شدن جهانی پرداختند. آنان از مدل‌های اقلیمی و روش‌های آماری تعدیل شده برای پیش‌بینی رویشگاه مناسب گونه‌های نادر صنوبر مکزیکی و صنوبر در جنوب‌غربی آمریکا استفاده نمودند و برای شرایط اقلیم آینده از سه مدل گردش عمومی و سناریوی انتشار کربن استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در دهه‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ دامنه انتشار همه گونه‌ها به مقدار زیادی کاهش پیدا خواهد کرد Thomas et al. (2010). Gray و همکاران (۲۰۰۲) به مطالعه رویشگاه مناسب برای جمعیت‌های درختی تحت تغییر اقلیم در شمال غربی آمریکا پرداختند. آنان مدل‌های بایو‌کلیماتیک را برای پیش‌بینی رویشگاه ۱۵ گونه درختی جنگلی در شمال‌غرب آمریکا به‌کار بردند. آنان بیان کردند که متوسط تغییرات جمعیت و میدان اقلیمی بهینه گونه‌های مورد مطالعه تقریباً

(GFDL) و مدل دانشگاه ایالتی اورگان (OSU) Harvey et al. (1997). برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها به گرم شدن جهان، ما باید واکنش متقابل پوشش گیاهی با اقلیم را درک کنیم. تأثیرات مستقیم تغییر اقلیم روی پوشش گیاهی در نهایت روی کنش متقابل و پراکنش گونه اثر می‌گذارد. تأثیرات غیرمستقیم اقلیم شامل اختلالات اقلیمی همانند آتش سوزی، حشرات، بیماری‌ها و کنش متقابل آنهاست (Lori et al., 2011). از آنجایی که تأثیر تغییر اقلیم روی پراکنش گونه‌های گیاهی و نوع پوشش گیاهی از مقیاس قاره‌ای به منطقه‌ای شدیدتر است، انتظار می‌رود تغییر اقلیم به صورت قابل توجهی پراکنش گیاهان را تغییر داده و بتواند تأثیرات قابل توجهی بر روی تنوع گونه‌ها و اکوسیستم‌ها داشته باشد (Benito et al., 2008). هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در سال ۲۰۰۷ بیان کرد که قرن بیست‌ویکم به احتمال زیاد با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و درجه حرارت همراه خواهد بود و این موضوع اثرهای مختلفی بر روی جانوران و گیاهان خواهد داشت و موجب از دست رفتن گونه‌های زیستی خواهد شد. مناطق کوهستانی، دارای اقلیم سرد بوده و به دلیل تغییرات توپوگرافی شدید (شیب، جهت و ارتفاع) و اثر آنها بر پارامترهای اقلیمی (بارش و دما) تمایل زیادی به تغییر در توزیع گونه‌ای دارند. این زیست‌بوم‌ها به تغییرات اقلیمی حساس‌اند و شرایط را برای تشخیص زودهنگام و مطالعه سیگنال‌های تغییر اقلیم فراهم می‌کنند (Ferrarini et al., 2014). هر گونه‌ای به تغییرات محیطی پاسخی متفاوت می‌دهد، بنابراین ترکیب گونه‌ای، ژنوتیپ، جوامع و حتی زیست‌بوم‌ها از مکانی به مکان دیگر تحت تأثیر تغییر اقلیم دچار تغییرات متفاوتی می‌شوند. پیامدهای ناشی از این تغییر به صورت تغییر ترکیب گونه‌های محلی، تهاجم، مرگ و میر و در نهایت انقراض است (Ipcc, 2014). امروزه موضوع تغییر اقلیم و تأثیرات ناشی از آن مانند گرمایش جهانی یکی از مسائل مهم و مطرح جهانی است که در این مورد بسیاری از محققان و پژوهشگران در سراسر جهان تحقیقات گسترده‌ای برای شناخت اقلیم، تغییرپذیری آن و پیش‌بینی این تغییرات در دوره‌های زمانی متفاوت آینده انجام داده‌اند. در ایران

تحقیق سعی شده است رویشگاه این گونه گیاهی که در اثر تغییرات اقلیمی در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ مورد ارزیابی قرار گرفته و بهبود شرایط رویشگاهی یا تهدید رویشگاهی احتمالی این گونه گیاهی با ارزش مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در مراتع شهرستان فریدون‌شهر و در فاصله ۱۴۰ کیلومتری شهرستان اصفهان قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی این منطقه بین ۳۲' ۳۸' ۴۹° و ۳۶' ۱۵' ۵۰° طول شرقی و ۴۸' ۶' ۳۳° و ۱۸' ۴۲' ۳۲° عرض شمالی واقع شده است. وسعت محدوده مطالعاتی در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۲۶۶۲ متر و متوسط بارندگی منطقه ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد. برای نمونه‌برداری رخداد گونه *Ferula ovina* (کما) از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده استفاده گردید (Roadi et al., 2008). در گام اول با بازدید از منطقه مورد مطالعه تیپ‌هایی که در آن گونه مذکور به صورت غالب حضور داشت مشخص شده و نقشه تیپ گیاهی در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. سپس نقشه فیزیوگرافی منطقه (ارتفاع، شیب و جهت) از نقشه DEM حاصل از پایگاه USGS تهیه گردید و هر یک از نقشه‌های طبقه‌بندی شده با هم ترکیب گردیدند. در ترکیبات مختلف محیطی دست‌کم یک سایت حضور انتخاب شد. برای تحلیل مناسب قوی باید حداقل از نسبت ده به یک بین تعداد سایت‌ها و تعداد متغیر پیش‌بینی‌کننده استفاده شود (Miller, 2010) در ۱۶۰ واحد ترکیبی ایجاد شده (منظور واحدهایی است که مانند آن در طبیعت مشاهده می‌شود) به صورت تصادفی سایت‌های حضور و غیاب انتخاب گردیدند.

متغیرهای بیوکلیماتیک طی دوره مورد مطالعه از درجه حرارت ماهانه و پارامترهای بارش اشتقاق شده‌اند و برای رشد و توسعه گونه‌ها مهم هستند و به‌طور گسترده‌ای برای بررسی پراکنش گونه‌ها استفاده می‌شوند (Warren et al., 2013). به‌نحوی که این داده‌ها از تعداد ۹ ایستگاه معرف منطقه و داده‌های خاک مربوط به ۷۰ پروفیل با عمق ۷۰

۱۳۰ کیلومتر در عرض جغرافیایی و ۶۰ متر در ارتفاع است و برای سال ۲۰۲۰، متوسط کاهش میدان اقلیمی تقریباً ۱۳۰ کیلومتر در عرض جغرافیایی و یا ۱۴۰ متر در ارتفاع می‌باشد (Gray et al., 2002). Tanaka و همکاران (۲۰۱۲)، به مطالعه اثر تغییر اقلیم بر روی رویشگاه قابلیت ۴ مورد از گونه‌های (Abies) در ژاپن و شرق آسیا پرداختند. آنان از دو مدل آماری (GAM و MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) برای پیش‌بینی رویشگاه قابلیت گونه‌ها استفاده نمودند و بیان کردند که مدل‌های پراکنش گونه‌ها ابزار مفیدی برای ارزیابی تأثیرات در مقیاس جغرافیای بزرگ و دوره‌های طولانی هستند (Tanaka et al., 2012). Toth و همکاران (۲۰۱۳)، توزیع گونه *Melitaea ormate* را در این شرایط، آخرین یخبندان و تا سال ۲۰۸۰ با استفاده مدل توزیع گونه‌ای Maxent مطالعه کردند. نتایج پیش‌بینی آنان نشان داد که مناطق معتدل برای این گونه در حال حاضر کمتر مناسبند. به‌طوری‌که در دوره آخرین یخبندان، این گونه گستره بیشتری را اشغال کرده بود و تا سال ۲۰۸۰ به سمت شمال مهاجرت می‌کند و در مناطق مدیرانه‌ای انقراض می‌یابد. Khanum و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر تغییر اقلیم بر سه گونه دارویی *Asclepiads* را در پاکستان بررسی کردند. در این مطالعه سه مدل گردش عمومی CCCMA, HadCM3 و CSIRO تحت سناریوی A2 رویشگاه مطلوب سه گونه را برای سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی کردند. گونه گیاهی کما از با ارزش‌ترین گیاهان علوفه‌ای (به صورت خشک)، حفاظتی و دارویی در مراتع بیلاقی است که ارزش علوفه‌ای آن در حد یونجه بوده و در رشد و نمو دام تأثیر بسزایی دارد. مهمترین رویشگاه‌های گونه کما در ایران در ارتفاعات البرز و زاگرس می‌باشد. در استان اصفهان نیز رویشگاه‌های کما به‌طور عمده در شهرستان‌های فریدن و فریدون‌شهر و در دامنه‌های ارتفاعات زاگرس مرکزی واقع شده است. علوفه سبز کما در مراتع برای دام‌های چراکننده تا حدی سمی است و روستاییان به‌طور معمول آن را با روش دستی و به‌صورت سنتی برداشت کرده و پس از خشکانیدن برای مصرف دام در فصل نامساعد سال، ذخیره‌سازی می‌کنند (Ghazimoradi, 2014). در این

Hasti & Tibshirani, 1986)

رابطه (۱)

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

در این رابطه:

$f_j (X_j)$: تابع هموار ساز برازش شده بر متغیرهای

مستقل محیطی، α : عرض از مبدأ

P : عدد انتهایی بازه می‌باشد که می‌تواند از یک تا هر

عددی باشد.

مدل افزایشی تعمیم یافته به دلیل انعطاف‌پذیری در

تعیین نوع رابطه و درجه ارتباط و قابلیت تفسیر بالای

آن، به یک مدل محبوب تبدیل شده است و آن را می‌توان برای طیف گسترده‌ای از داده‌ها استفاده کرد (Issaks & Srivastana, 1989) از آنجا که اثر هر متغیر به صورت جداگانه بیان می‌شود، بنابراین هر تابع می‌تواند برای

آزمون نقش متغیرها در پیشگویی پاسخ به صورت جداگانه رسم شود. همچنین در مدل جمعی تجمع یافته

منحنی پاسخ توسط اشکال موجود در کلاس پارامتری محدود نمی‌شود، بلکه مدل اجازه می‌دهد داده‌ها شکل

منحنی پاسخ را تعیین کنند. از دیگر مزایای مدل جمعی تعمیم یافته آن است که به جای پیش‌فرض‌های پارامتری

غیر قابل انعطاف، رابطه بین متغیر پاسخ و مستقل به وسیله تابع هموارساز که عملاً می‌تواند برای هر شکلی از

داده‌ها به‌کار رود، بیان شود (Hasti & Tibshirani, 1986). به منظور تهیه نقشه رویشگاه بالقوه گونه کما با

استفاده از داده‌های خاک (سیلت، رس، ماده آلی، درصدشباع، کربنات کلسیم)، فیزیوگرافی (شیب، ارتفاع) و داده‌های اقلیمی (میانگین درجه حرارت سالیانه) در نرم افزار R پیش‌بینی حضور و عدم حضور به ازای هر

پیکسل انجام شد، سپس مقادیر برازش شده در نرم‌افزار Arc GIS تعریف شد و نقشه‌ای تولید گردید که ارزش آن

بین ۰ و ۱ می‌باشد که مقادیر نزدیک به یک نشان‌دهنده مناطق با احتمال رخداد بالا برای حضور گونه است.

سانتی‌متری در هر تیپ گیاهی حفر شده در منطقه استخراج گردید (Hijmans *et al.*, 2005). نقشه پارامترهای خاک و عوامل اقلیمی نیز از طریق روش‌های مختلف میان‌یابی تهیه شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کلموگروف اسمیرنوف در 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 بررسی گردید و با توجه به مجذور میانگین مربعات خطا بهترین مدل واریوگرام انتخاب شد. (Esmaili, 2001) به منظور انتخاب بهترین روش میان‌یابی از شاخص‌های میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) 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. به منظور کاهش تعداد متغیرها همراه با افزایش دقت در پیش‌بینی مدل از روش‌های ماتریس همبستگی و PCA استفاده شد (Barbet-Massin *et al.*, 2012) بهترین مدل برازش شده از فضای ریاضی به فضای جغرافیایی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS تعمیم یافت و نقشه رخداد گونه کما در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. مدل افزایشی تعمیم یافته یک مدل آماری است که اولین بار توسط Hastie & Tibshirani در سال ۱۹۸۶ معرفی شد. این مدل جزو مدل‌های نیمه‌پارامتریک است و بدون هیچ پیش‌فرضی نسبت به شکل منحنی‌های واکنش متغیرهای ورودی عمل می‌کند. در مدل‌های تعمیم یافته خطی متغیر پاسخ تابع، گروهی از متغیرهای مستقل است. مدل مذکور در واقع تعمیم یافته رگرسیون خطی می‌باشد. به روش مذکور افزایشی گفته می‌شود، زیرا این مدل را می‌توان به صورت مجموع چند تابع غیرخطی بیان نمود (رابطه ۱). مدل افزایشی تعمیم یافته علاوه بر شناسایی روابط خطی، قادر به کشف روابط غیرخطی بین متغیرها نیز می‌باشد.

نتایج

تهیه نقشه‌های محیطی

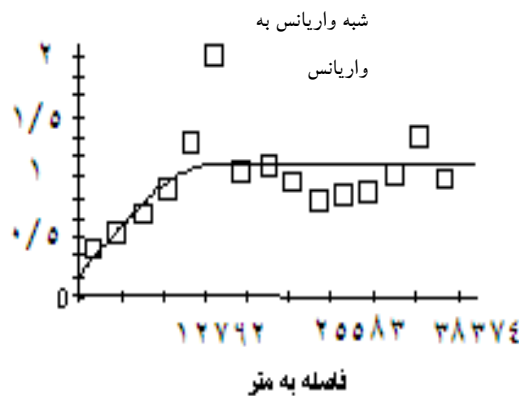
ترسیم واریوگرام

بهترین مدل واریوگرام با توجه به مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا برای هر متغیر محیطی انتخاب گردید که به ترتیب پارامترهای رس و کربنات کلسیم از مدل کروی، پارامترهای سیلت و درصد اشباع از مدل نمایی و میانگین درجه حرارت

سالانه از مدل گوسین پیروی می‌کند. در واقع این مدلها به دلیل داشتن حداقل مجذور میانگین به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده‌اند. مقادیر اثر قطعه‌ای، دامنه و سقف بهترین مدل برای هر پارامتر، در جدول ۱ نشان داده شده است. شکل ۱ مدل واریوگرام تولیدشده درصد رس را نشان می‌دهد که بیانگر همبستگی بالای مکانی متغیر رس تا فاصله ۲۰۰۰ متری می‌باشد و بعد همبستگی مکانی از بین می‌رود.

جدول ۱- اجزای مربوط به واریوگرام متغیرهای وارد شده به مدل

پارامتر	مدل تغییرنما	اثر قطعه‌ای (CO)	آستانه (C+CO)	CO/(C+CO)	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



شکل ۱- مدل واریوگرام تولیدشده درصد رس

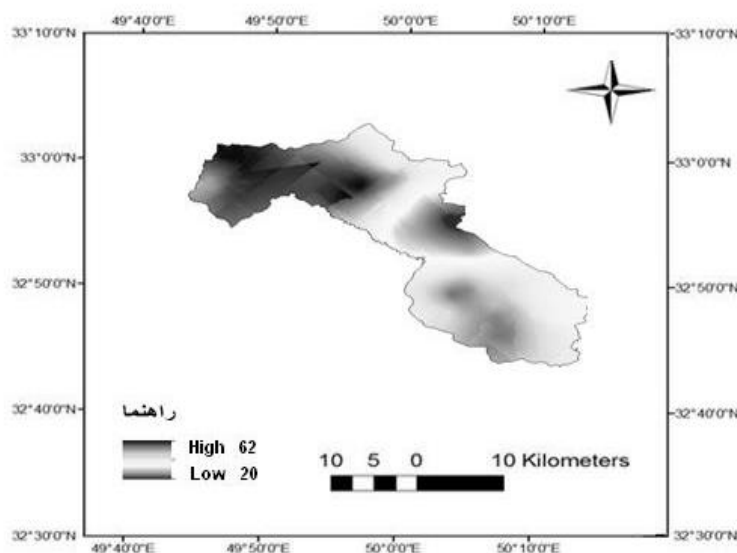
برای سیلت روش کریجینگ ساده، برای ماده آلی روش معکوس فاصله وزنی، برای کربنات کلسیم کریجینگ معمولی و برای میانگین درجه حرارت سالیانه کریجینگ معمولی تشخیص داده شد (جدول ۲). شکل ۲ نقشه درصد رس تولید شده را با استفاده از روش کریجینگ معمولی نشان می‌دهد که دامنه تغییرات آن بین ۲۰ تا ۶۲ درصد می‌باشد.

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

بهترین روش میان‌یابی با استفاده از شاخص‌های میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و خطای مجذور میانگین (RMSE) تعیین شد. بهترین روش کریجینگ برای تولید نقشه رس روش کریجینگ معمولی،

جدول ۲- بهترین مدل میان‌یابی انتخاب شده برای تهیه نقشه متغیرهای محیطی

متغیر	روش میان‌یابی	میانگین قدرمطلق 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

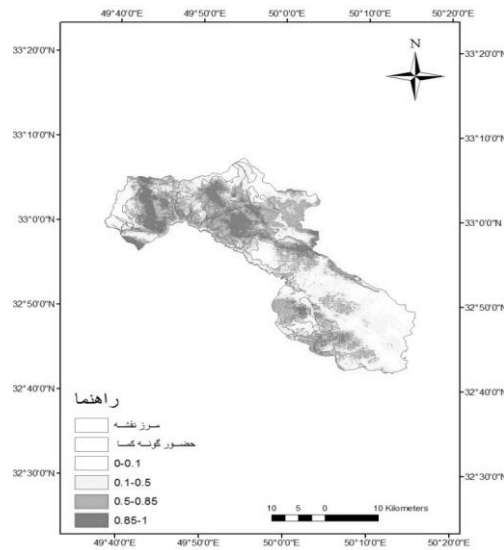


شکل ۲- نقشه تولید شده درصد رس با استفاده از روش کریجینگ معمولی

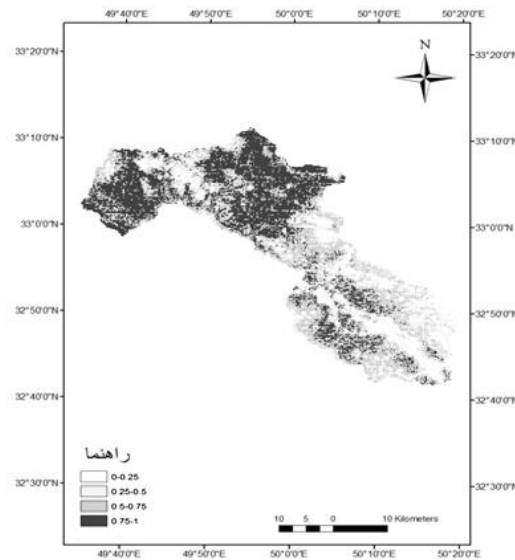
ماندن تمامی فاکتورهای اقلیمی به غیر از فاکتور میانگین درجه حرارت سالیانه، نقشه پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه کما در سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ تهیه گردید. بدین منظور از داده‌های اقلیمی پیش‌بینی شده توسط مدل گردش عمومی Hadcm3 برای سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ استفاده شد. به منظور تولید نقشه رویشگاه گونه کما مدل برازش شده از نرم افزار Arc GIS استفاده شد.

پیش‌بینی پراکنش گونه *Ferula ovina* (کما) برای سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰

در این مطالعه، مدلسازی رویشگاه بالفعل گونه کما با استفاده از داده‌های خاک (سیلت، رس، ماده آلی، درصد اشباع خاک، کربنات کلسیم)، فیزیوگرافی (شیب، ارتفاع) و داده‌های اقلیمی (میانگین درجه حرارت سالیانه) حال حاضر با مدل افزایشی تعمیر یافته انجام شد. سپس به ازای ثابت



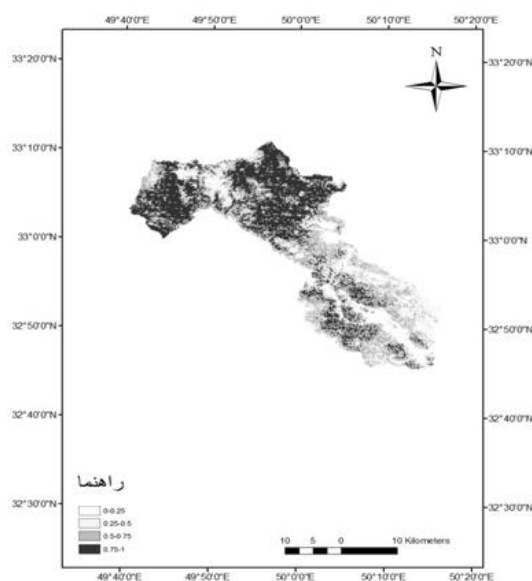
شکل ۳- نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه کما در زمان حال حاضر با استفاده از مدل GAM



شکل ۴- نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه کما در سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل GAM

حاضر، در سال ۲۰۳۰ حدود ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دما و در سال ۲۰۸۰ حدود ۴/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین درجه حرارت سالیانه نسبت به حال حاضر خواهیم داشت.

طبق نقشه‌های موجود، میزان میانگین درجه حرارت سالیانه در حال حاضر حدود ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد است، در سال ۲۰۳۰ حدود ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد و در سال ۲۰۸۰ حدود ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان‌دهنده این است که نسبت به میانگین درجه حرارت سالیانه در حال



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه کما در سال ۲۰۸۰ با استفاده از مدل GAM

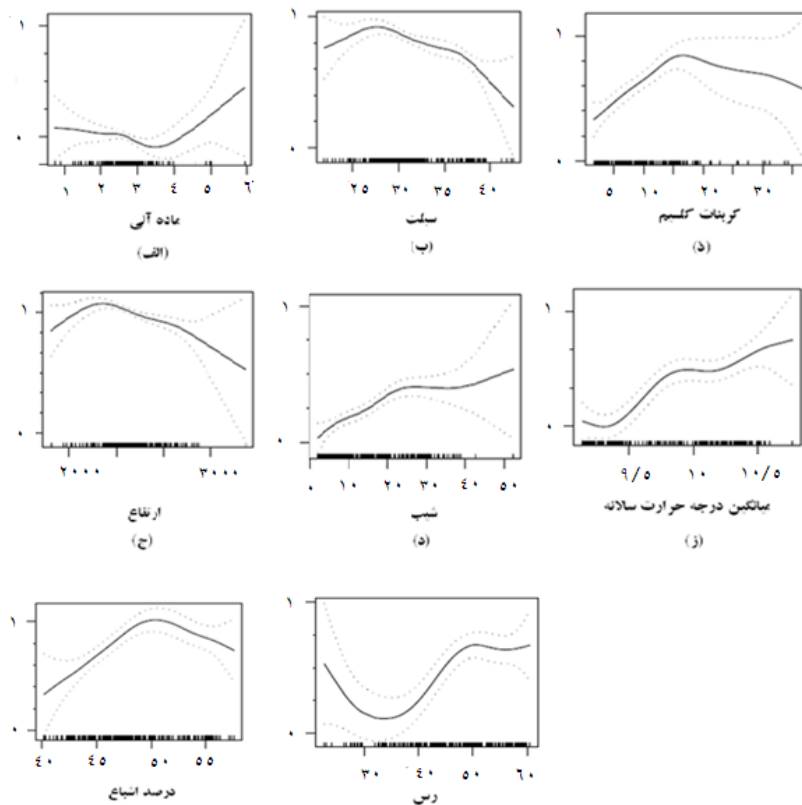
جدول ۳- مساحت طبقات در نقشه پیش‌بینی رویشگاه کما در حال حاضر، سال ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	احتمال حضور
حال حاضر		
۳۲	۳۱۸۱۷/۲	۰-۰/۲۵
۲۵	۲۴۷۶/۱	۰/۲۵-۰/۵
۳۰	۳۰۳۲۹	۰/۵-۰/۷۵
۱۳	۱۲۹۷۰	۰/۷۵-۱
سال ۲۰۳۰		
۲۲	۹۳۱۱/۰۷۶	۰-۰/۲۵
۸	۶۲۰۷/۳۸۴	۰/۲۵-۰/۵
۴۵	۳۴۹۱۶/۵۳۵	۰/۵-۰/۷۵
۲۵	۲۷۱۵۷/۳۰۵	۰/۷۵-۱
سال ۲۰۸۰		
۷	۵۴۳۱/۴۶۱	۰-۰/۲۵
۳	۲۳۲۷/۷۶۹	۰/۲۵-۰/۵
۵۰	۳۸۷۹۶/۱۵	۰/۵-۰/۷۵
۴۰	۳۱۰۳۶/۹۲	۰/۷۵-۱

منحنی واکنش

از ترسیم عملکرد یک گونه در امتداد شیب تغییرات محیطی، منحنی‌هایی به دست می‌آید که از آن به‌عنوان منحنی‌های واکنش گونه نام می‌برند. در این مطالعه به منظور تعیین دامنه و پاسخ گونه کما نسبت به عوامل محیطی از مدل افزایشی تعمیم یافته در نرم‌افزار R استفاده گردید.

با توجه به جدول ۳ مساحت مربوط به طبقاتی که احتمال حضور گونه کما در آنها بیشتر است در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ نسبت به حال حاضر افزایش یافته است که این نشان‌دهنده آن است که در سالهای آینده میزان حضور گونه کما در رویشگاه مورد نظر افزایش می‌یابد.



شکل ۶- منحنی واکنش متغیرهای محیطی (اقلیمی، خاک و فیزیوگرافی) مورد مطالعه (خطوط خط‌چین نشان‌دهنده فاصله اطمینان و خط پررنگ نشان‌دهنده تغییرات متغیر محیطی نسبت به حضور و غیاب گونه مذکور می‌باشد)

و غیاب گونه نسبت به متغیرهای محیطی بدست می‌آیند و اطلاعات اکولوژیکی مناسبی در رابطه با دامنه بهینه پراکنش گونه و نوع واکنش گونه تولید می‌کنند (Vogiatzakis, 2000) طبق نقشه رویشگاه بالقوه و منحنی‌های واکنش ترسیم شده گونه کما (*F. ovina*) در میانگین درجه حرارت سالانه ۱۱-۹ درجه سانتی‌گراد، درصد شیب ۲۵-۵۰ درجه، ارتفاع ۱۹۵۰-۳۰۰۰ متر، کربنات کلسیم ۳۰-۱۰

بحث

با استفاده از مدلسازی پیش‌بینی مکانی گونه‌های گیاهی می‌توان به نکات زیادی درباره آشیان اکولوژیک گونه‌ها و علل پراکنش گونه‌ها بر حسب روابط با محیط اطراف آنها بدست آورد و منحنی پاسخ گونه‌ها را نسبت به عوامل محیطی ترسیم نمود. این منحنی‌ها برای تولید نقشه‌های پیش‌بینی لازم هستند، به طوری که از پلات کردن داده‌های حضور

گیاه و همچنین درجه مقاومت گیاهان به شوری تعیین نمود. عامل مهم بعدی درصد شیب منطقه بود. شیب اثر بسیار زیاد در واکنش هیدرولوژیک حوزه دارد. سرعت جریانهای سطحی به طور مستقیم به شیب بستگی دارد. با افزایش شیب، سرعت آب، نیرو و جنبش افزایش و در نتیجه قدرت تخریب و حمل آن را افزایش می دهد. همچنین میزان نفوذ آب در خاک با بالا رفتن شیب کاهش می یابد. هرچند فاکتورهای دیگری مانند شکل حوزه آبخیز، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و غیره هر یک به نحوی در وقوع جریانهای سطحی و فرسایش تأثیر گذارند. عامل شیب و توپوگرافی حوزه به عنوان یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار مطرح است. در مطالعات Ahmad (۲۰۱۰) و Fahimipour و همکاران (۲۰۱۰) به اهمیت فاکتور شیب در پراکنش گونه های گیاهی اشاره شده است. اثر بسیار مهم شیب بر عمق خاک و ناحیه نفوذ ریشه است. مطالعه آت اکولوژی Azhir و Shahmoradi (۲۰۰۷) روی گیاه کما در استان تهران نشان داد که این گونه گیاهی در دامنه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۳۲۰۰ متر از سطح دریا رشد می کند و به لحاظ درصد شیب و جهت شیب تقریباً محدودیتی ندارد.

گیاهان مرتعی در مقایسه با درختان نسبت به کنش متقابل دما و بارندگی حساس ترند، زیرا بسیاری از گیاهان چوبی با برخورداری از ریشه های عمیق از رطوبت ذخیره شده در اعماق خاک استفاده می کنند و مستقل از زمان وقوع باران به رشد خود ادامه می دهند و در فصل خاصی گل می دهند. جوانه زدن بذرها نیز با دما در ارتباط است و گیاهان سردسیری در مقایسه با گیاهان گرمسیری دمای بهینه کمتری دارند. Esmaili و همکاران (۲۰۰۱)، عوامل متوسط بارش سالانه، متوسط حداقل درجه حرارت روزانه و متوسط درجه حرارت سالانه را از عوامل مؤثر بر پراکنش گونه ها بیان کرده است (Esmaili et al., 2001). در مطالعه ای دیگر نیز نشان داده شد که از بین عوامل محیطی، بارش و درجه حرارت بیشترین نقش را در پراکنش گونه های گیاهی دارند (Wu & Smeins, 2000). McKenney و همکاران (۲۰۰۷)، عوامل اقلیمی مانند

درصد، ماده آلی ۶-۴ درصد، سیلت ۳۰-۱۰ درصد، رس ۶۰-۴۵ درصد و درصد اشباع ۶۰-۴۵ درصد بیشترین احتمال حضور را دارد. با توجه به منحنی واکنش، به ازای افزایش میانگین درجه حرارت سالیانه میزان حضور گونه کما (*Frula ovina*) افزایش می یابد که در واقع نقشه های پیش بینی رویشگاه نیز تأییدکننده این موضوع هستند. به طوری که میانگین درجه حرارت سالیانه در سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ نسبت به حال حاضر به ترتیب ۱/۸ و ۴/۷ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت. خصوصیات خاک و توپوگرافی از مؤثرترین عوامل اثرگذار بر پراکنش گیاه کما هستند. این ویژگیها در تأمین رطوبت و مواد غذایی نقش مهمی ایفا می کنند. در محیط رشد گیاه، آب باید به مقدار کافی و با کیفیت مناسب وجود داشته باشد؛ زیرا رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد و باعث می شود عناصر غذایی موجود در محیط رشد گیاه از جمله خاک در آن حل شده و جذب عناصر غذایی انجام شود. این موضوع اهمیت بافت خاک را نمایان می کند. کلویید رس در خاک به علت ریز بودن بیش از حد، آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را در سطح خود نگهداری کرده، به مرور در اختیار گیاه قرار می دهد. اهمیت بافت خاک در مطالعات دیگر محققان نیز مشخص شده است (Fahimipour et al., 2010). Jafari (۱۹۸۹)، مهمترین خصوصیات خاک مؤثر در تفکیک تیپ های رویشی را هدایت الکتریکی، بافت خاک و آهک برشرد و بیان کرد که هر گونه گیاهی با توجه به منطقه رویش، نیازهای اکولوژیک و دامنه بردباری معینی با بعضی از خصوصیات خاک دارد (Ahmad, ۲۰۱۰). و همکاران (۲۰۱۰)، درصد رس خاک را از عوامل محیطی مؤثر در پراکنش پوشش گیاهی در حوضه آبخیز قره آقاج در شهرستان سمیرم استان اصفهان معرفی کردند. هدایت الکتریکی بعد از درصد رس و رطوبت اشباع، سومین عامل اثرگذار بر رویشگاه بالقوه کما بود. هدایت الکتریکی از مهمترین شاخصهای تعیین درجه شوری خاک است. البته هر چه املاح خاک بیشتر باشد هدایت الکتریکی آن نیز بیشتر است، در نتیجه می توان تأثیر فشار اسمزی خاک را در جذب مواد توسط

- resource, Isfahan University of Technology, Iran.
- Gray, A., Edwards Jr, T. C. and Hastie, T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Journal of Ecological modeling*, 157(2): 89-100.
 - Harvey, D., Gregory, J., Hoffert, M., Jain, A., Lal, M., Leemans, R. and De Wolde, J., 1997. An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report.
 - Hasti, T. and Tibshirani, R., 1986. Generalized additive models. *Journal of Statistical science*, 1(3): 297-310.
 - Hijmans, R. J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 25(15): 1965-1978.
 - IPCC., 2014. Impact, Adaptation and Vulnerability, Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Inter governmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
 - Issaks, E.H. and Srivastana, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics, Oxford University Press, New York.
 - Jafari, M., 1989. Survey of relationship between salinity agents and distribution of plants in Damghan region. M.Sc. Thesis, Natural Resources College of Tarbiat Modarres University.
 - Khanum, R., Mumtaz. A. S. and Kumar, S., 2013. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. *Journal of Acta Oecologica*, 49:23-31.
 - Lori, D., Thomas, B., Meartens, A., Stan, B., Shane, P. J., McCloskey, J., Cochrane, D. and Gray, R., 2011. Direct and indirect impacts of climate change on forest: three case studies from British Columbia, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 33(2):108-116.
 - McKenney, D. W., Pedlar, J. H., Lawrence, K., Campbell, K. and Hutchinson, M. F., 2007. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees. *Journal of Bioscience*, 57(11):939-948.
 - Miller, J., 2010. Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4(6):490-509.
 - Roadi, B., Mozaffarian, V., Fallahian, F. and Khavarinejad, R., 2008. Medical plants of mountainous area in the province of Isfahan. *Journal of Biological sciences*, 3(3):1-6.
 - Tanaka, N., Nakao, k., Tsuyama, I., Higa, M., Nakazono, E. and Matsui, T., 2012. Predicting the impact of climate change on potential habitat of fire (*Abies*) species in Japan and on the East Asian

بارندگی سالانه، دوره بارندگی، متوسط درجه حرارت سالانه و متوسط درجه حرارت ماهانه را در رشد و استقرار *Eculyptus grandis* مؤثر دانسته‌اند.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H., Kamali, N., Salajeque, A. and Jaffari, M., 2010. Investigation on some environmental factors influencing distribution of plant species (Case study: Ghara Aghach watershed, Semirom, Iran). *Watershed Management Researches Journal*, 88: 55-63.
- Austin, M.P., 2002. Spatial Prediction of Species distribution: on interface between ecological theory and statistical modelling. *Journal of Ecological Modelling*, 157(2):101-118.
- Azhir, F. and Shahmoradi, A., 2007. Autecology of *Ferula ovina Boiss.* In Tehran Province Iranian *Journal of Range and Desert Research*, 14 (3):359-367.
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C.H. and Thuiller, W., 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2): 327-338.
- Benito Garzon, M., Sanchez de Dios, R. and Sainz Ollero, H., 2008. Effects of climate change on the distribution of *Iberian* tree species. *Journal of Applied Vegetation Science*, 11(2): 169-178.
- Bourg, N, A., Mcshea, W. J. and Gill, D.E., 2005. Putting a CART before the search: successful habitat prediction for a rare forest herb. *Journal of Ecology*, 86(10):2793-2804.
- Esmaili, R., Astaie, H., Fallah, G., 2001. Assessment of climate change impact on the future development of apricot and almond species. (Case Study: Khorasan Razavi Province). *Journal of Sustain agriculture*, 21(2):146-162.
- Fahimipour, E., Chahuki, M., Tavili, A., 2010. Investigation on some environmental factors influencing distribution of plant species (Case study: Taleghan rangeland), *Rangeland Journal*, 24(2): 23-32.
- Ferrarini, A., Rossi, G., Mondoni, A. and Orsenigo, S., 2014. Prediction of climate warming impacts on plant species could be more complex than expected, Evidence from a case study in the Himalaya, *Journal of Ecological Complexity*, 20: 307-314.
- Ghazimoradi, M., 2014. Modeling potential habitat of *Ferula ovina* (Boiss.) using Generalized additive model and Bayesian networks Fereidunshahr regional, in Isfahan province. Department of natural

- plant communities in the Lefka Ori. Crete. Usinig GIS, Departmenet of Geography, The University of Reading, 291.
- Warren, R., Van Der Wal, J., Price, J., Welbergen, J. A., Atkinson, I. and Ramirez-Villegas, J., 2013. Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 3(7): 678-682.
 - Wu, X.B and Smeins, F. E., 2000. Multiple-Scale approach for rare plant conservation, *Landscape and urban planning*, 51(1):11-28.
 - continent. *Procedia Enviromental Science*, 13(2):455-466.
 - Thomas, L, Gerald, E. and Celestino, F., 2010. Projection of suitable habitat for rare species under global warming scenario. *American journal of botany*, 97(6): 970-987.
 - Toth, P., Varga, K., Végvári, Z. and Varga, Z., 2013. Distribution of the Eastern knapweed fritillary (*Melitaea ornata* Christoph, 1893) (Lepidoptera: Nymphalidae): past, present and future, *Insect Conservation*, 17(2): 245-255.
 - Vogiatzakis, I. N., 2000. Predicting the distribution of

Modeling the potential habitat of *Ferula ovina* now and in the coming years using a generalized incremental model (Case study: Fereydunshahr, Isfahan)

M. Ghazimoradi^{1*} and A.A. Ebrahimi²

1*-Corresponding author, Ph.D. Student of Range Management, Faculty of Natural Resource and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran, Email: m.ghazimoradi@na.iut.ac.ir

2-Associate Professor, Faculty of Natural Resource and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran

Received: 04/22/2019

Accepted: 01/11/2020

Abstract

Assessing the potential habitat and studying the geographical distribution of species is a key issue in many ecological studies, environmental protection, wildlife, and assessing the trend of changes at various scales. Therefore, in the present study, modeling of potential habitat of *Ferula ovina* in the present and future years was performed using a generalized incremental model in Fereydunshahr region. The results showed that in 2030 and 2080, in exchange for all climatic factors remaining constant, except the average annual temperature, the probability of surviving the *Ferula* species has increased; in other words, the probability of its occurrence increases. The habitat area in the class where the species is most likely to be present is currently about 12,970 hectares in Fereydunshahr, Isfahan, which in 2030 and 2080 will be reached about 27157.3 and 31036.9 hectares, respectively. This indicates that the increase in the average annual temperature in 2030 and 2080 compared to now will have a positive effect on the presence of the species in the habitats studied. Because according to the results obtained in response curves, by increasing annual temperature, the probability of the presence of *Ferula* species increases. The results of this research can be used to improve and rehabilitate the vegetation of areas with similar conditions, which is one of the important achievements of this research.

Keywords: Species distribution modeling, GIS, climate change, rangeland improvement.