

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه در معرض خطر انقراض کرفس کوهی با استفاده از مدل افزایشی تعمیم یافته

سیدمحمد رضا ابوالمعالی^{۱*}، مصطفی ترکش اصفهانی^۲، حسین بشری^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۲۹)

چکیده

امروزه تغییرات اقلیمی باعث تغییرات زیادی در شرایط رویشگاهی گونه‌های گیاهی شده است. در مطالعه حاضر چگونگی تغییرات پراکنش گونه کرفس کوهی (*Kelussia odoratissima* Mozaff) به‌عنوان گونه‌ای دارویی و اقتصادی در مقاطع زمانی حال و آینده (۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ میلادی، مدل Hadcm3 تحت سناریو A2) بررسی شده است. بدین منظور داده‌های ۵۰ سایت حضور و عدم حضور گونه مورد مطالعه با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی شده در شهرستان فریدونشهر جمع‌آوری گردید و ارتباط آن با عوامل محیطی شامل فیزیوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) و ۱۹ متغیر اقلیمی (میانگین درجه حرارت روزانه، بارندگی سالیانه و...) با استفاده از مدل رگرسیون افزایشی تعمیم یافته (GAM) مشخص و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه پراکنش بالقوه گونه کرفس کوهی تولید گردید. مهمترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر پراکنش این گونه، میانگین درجه حرارت سالیانه، بارندگی سالیانه، ارتفاع و شیب تعیین شد. ارزیابی مدل با استفاده از ضرایب آماری کاپا و سطح زیر منحنی پلات‌های ROC به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۸ تعیین شد که نشان دهنده تطابق بسیار بالای مدل با واقعیت زمینی است. نتایج حاصل از پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای تحت سناریو A2 طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ میلادی بیانگر کاهش رخداد گونه کرفس کوهی و جابجایی این گونه به سمت مناطق مرتفع است. این جابجایی به دلیل کاهش بارندگی سالیانه و افزایش میانگین دما تحت این سناریو است. نتایج این پژوهش برای مقاصد مدیریتی در توسعه پایدار اکوسیستم‌های مرتعی، مخصوصاً حفاظت و احیای رویشگاه گونه کرفس کوهی کاربرد دارد.

کلید واژگان: رویشگاه بالقوه، تغییر اقلیم، حفاظت، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فریدونشهر

۱. مقدمه

سطح زمین و سطح دریاها بین سال‌های ۱۹۰۴ تا ۲۰۰۵، ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده است و پیش‌بینی شده که ۱/۸ - ۴ درجه سانتی‌گراد برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۹۰ افزایش یابد (Solomon, 2007). برحسب سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، افزایش درجه حرارت ناشی از تغییرات اقلیمی در اغلب نقاط جهان پیش‌بینی شده و نتایج مختلفی ارائه گردیده است. گرمایش جهانی سبب افزایش مقادیر آستانه‌ای و شرایط آب و هوایی بدتر در دوره‌های نه چندان دور می‌شود. از جمله پیامدهای ناشی از گرمایش جهانی می‌توان به تغییرات موسمی کم، نوسانات زیاد در دمای روزانه و بارش و افزایش آنتروپی سیستم که باعث افزایش فراوانی رویدادهای حدی می‌شود، اشاره کرد. همچنین کاهش فراوانی روزهای سرد، تداوم موج‌های گرمایی و وقوع سیل از دیگر آثار زیانبار گرمایش جهانی هستند (Solomon, 2007).

از دیدگاه اکولوژیک، تغییر اقلیم ممکن است باعث تغییرات شدیدی در پراکنش و انتشار موجودات زنده شود و حدود بردباری و فاکتورهای محیطی مؤثر بر توزیع گونه‌ها و گسترش جغرافیایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. اقلیم به طور مستقیم بر تمامی عوامل مؤثر بر محیط رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد و آزمایش‌هایی که در سال‌های اخیر انجام شده دلالت بر کنترل بالقوه اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی دارد (Hijmans et al., 2006). برای انجام مطالعات تغییر اقلیم در دوره‌های آتی، در ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو است. هدف از ساخت این مدل‌ها شبیه‌سازی تمامی ویژگی‌های سه بعدی اقلیم بوده و بدین دلیل این مدل‌ها جامع‌ترین مدل‌های اتمسفری و بهترین شیوه برای پیشگویی اقلیم آینده و گذشته هستند (Guisan et al., 2012). از مدل‌های گردش عمومی جو می‌توان HadCM2، HadCM3، Cgcm3، Ccsm3، ECHAM3، ECHAM4، CSIRO و... را نام برد که از

دگرگونی عوامل محیطی در سال‌های اخیر نسبت به هر زمان دیگر باعث تغییرات چشمگیری در موجودات زنده زمین شده است. معمولاً با کمی کردن ارتباط بین متغیرهای محیطی و گونه‌های گیاهی، می‌توان اطلاعاتی در مورد چگونگی توزیع گونه‌ها کسب کرد. همچنین کمی کردن این ارتباطات وسیله‌ای برای پیش‌بینی توزیع پوشش گیاهی در نتیجه تغییر شرایط محیطی است (Austin, 2002). مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای، به عنوان پیش‌بینی توزیع یک گونه در سراسر چشم انداز براساس ارتباط بین پراکنش مکانی پوشش گیاهی و متغیرهای محیطی مؤثر تعریف می‌شود (Guisan et al., 2002). مدل‌های پراکنش گونه‌ای به دو دسته مدل‌های متمایز کننده گروهی و مدل‌های پروفیل تقسیم می‌شوند. مدل‌های متمایز کننده گروهی نیازمند داده‌های حضور و عدم حضور گونه هدف هستند و بر مبنای همبستگی و ارتباط با متغیرهای محیطی تولید می‌شوند و به دو گروه مدل‌های جهانی (پارامتریک) و مدل‌های محلی (غیر پارامتریک) طبقه‌بندی می‌شوند. از جمله مدل‌های جهانی رگرسیون، می‌توان به مدل‌های خطی عمومی (GLM) و رگرسیون لجستیک چندگانه (MLR) و از مدل‌های محلی می‌توان به مدل‌های تجمعی تعمیم‌یافته (GAM) و مدل طبقه‌بندی رگرسیون درختی (CART) اشاره کرد. در مقابل مدل‌های پروفیل، بر اساس داده‌های "فقط حضور" گونه تولید می‌شوند. مدل‌های حداکثر آنتروپی (MAXENT)، تحلیل عاملی آشیان اکولوژیک (ENFA) و مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک (GARP) از جمله این مدل‌ها هستند (Tarkesh & Jetschke 2012).

تغییر اقلیم به معنی تغییرات دراز مدت در آمارهای آب‌وهوایی است. 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. متوسط جهانی دمای

شده خانواده چتریان بوده و جزو گونه‌های دارویی و علوفه‌ای بومی مراتع ایران بوده که تاکنون وجود آن در سایر مناطق جهان گزارش نشده است. این گیاه چند ساله و بسیار معطر است. ساقه آن به ارتفاع ۱۲۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر و استوانه‌ای، برگ‌های قاعده‌ای، بزرگ و شمای عمودی گل آذین آن بزرگ و چتر انتهایی آن کاملاً بارور است (Salimi et al., 2009). مردم بومی زاگرس مرکزی از اندام‌های مختلف آن به عنوان سبزی، طعم دهنده و تشری استفاده می‌کنند و یا برای درمان سوء هاضمه، رماتیسم، دیابت، ضدالتهاب و بیماری‌های قلبی و عروقی به کار می‌برند (Ahmadi et al., 2007). این گیاه یکی از گیاهانی است که از دیرباز به شدت مورد علاقه مردم و بهره‌برداران محلی بوده و به همین دلیل جمعیت این گیاه رو به کاهش نهاده، به طوری که جزء گیاهان در معرض خطر انقراض شمرده می‌شود از این رو مطالعه دقیق رویشگاه‌های این گیاه در زمان حال و آینده حائز اهمیت فراوانی می‌باشد. از آنجا که یکی از رویشگاه‌های اصلی این گونه در غرب استان اصفهان است، بررسی رویشگاه بالقوه این گونه در شهرستان فریدونشهر در اولویت قرار گرفت و در این تحقیق نیز به بررسی ارتباط بین گونه ارزشمند کرفس کوهی و عوامل اقلیمی در زمان حال و آینده پرداخته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در استان اصفهان، شهرستان فریدونشهر واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، این حوزه بین $17^{\circ} 26' 50''$ تا $35^{\circ} 40' 49''$ طول شرقی و $46^{\circ} 41' 32''$ تا $04^{\circ} 07' 33''$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این شهرستان با مساحت ۲۲۳۶/۱۵ کیلومتر مربع، حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریا ۴۰۰۰ متر و حداقل آن ۱۵۰۰ متر است. متوسط بارندگی سالانه منطقه حدود ۴۷۰ میلی‌متر است. به منظور تعیین رویشگاه بالقوه گونه کرفس کوهی از داده‌های حضور و

خروجی آن‌ها برای مطالعات تغییر اقلیم استفاده می‌شود (Iverson & Prasad, 1998). هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) سناریوهای مختلفی را در خصوص پیش‌گویی چگونگی ادامه روند گازهای گلخانه‌ای ارائه کرده است. این هیئت در سال ۲۰۰۰ سری جدید از سناریوهای انتشار تحت عنوان چهارمین گزارش ویژه سناریوهای انتشار تدوین کرد که چهار خانواده به نام‌های A1, A2, B1, B2 را برای توصیف ارتباط بین فرایندهای تولید کننده گازهای گلخانه‌ای و نحوه تغییرات آن‌ها طی قرن ۲۱ در مناطق کره زمین به کار گرفت (Hasti & Tibshirani, 1990).

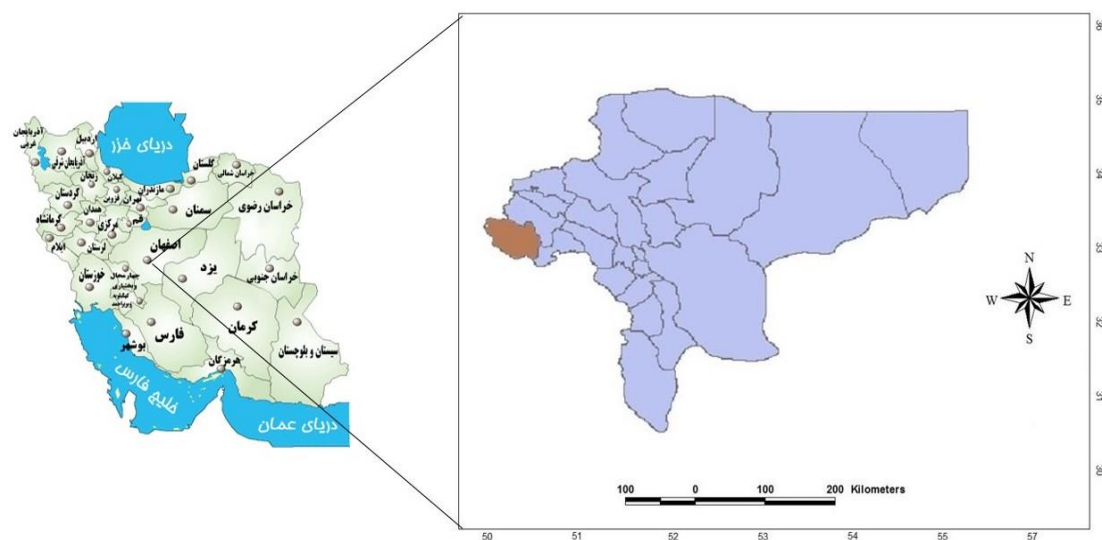
Hijmans & Graham (۲۰۰۶) توانایی پیش‌بینی چهار مدل MAXENT, GAM, Domain, Bioclim در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها را با پیش‌بینی‌های حاصل از مدل ماشینی مقایسه کردند و بر اساس نتایج ایشان مدل‌های MAXENT و GAM تحت هر سه شرایط اقلیمی پراکنش را به خوبی پیش‌بینی کردند. Attorre و همکاران (۲۰۰۷) به مطالعه اثر تغییر اقلیم روی گونه *Dracaena cinnabari* در یمن پرداختند. در این مطالعه پراکنش کنونی، فراوانی و ساختار جمعیت این گونه در ۷۴ پلات بررسی شد و از مدل آنالیز رگرسیون درختی به منظور کمی کردن روابط بین رخداد گونه و عوامل محیطی استفاده نمودند. بر اساس این مدل گونه *D. cinnabari* فقط در ۵٪ از رویشگاه بالقوه کنونی حضور دارد و اظهار کردند که پراکنش جغرافیایی گونه مذکور در سال ۲۰۸۰ حدود ۴۵٪ کاهش می‌یابد. Tanaka و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه اثر تغییر اقلیم بر روی رویشگاه پتانسیل ۴ مورد از گونه‌های (Abies) در ژاپن و شرق آسیا پرداختند. آن‌ها از دو مدل آماری GAM و MARS برای پیش‌بینی رویشگاه پتانسیل گونه‌ها استفاده نمودند و اظهار داشتند که مدل‌های پراکنش گونه‌ای ابزار مفیدی برای ارزیابی تأثیرات در دوره‌های طولانی هستند. گونه کرفس کوهی با نام علمی *Kelussia odoratissima* Mozaff از گونه‌های شناخته

۲۰۳۰ و سال ۲۰۸۰ به فرمت رستری تهیه شدند. این داده‌ها شامل ۱۹ متغیر اقلیمی هستند که به فرمت شبکه‌ای تهیه گردیدند. نقشه‌های مکانی هر یک از عوامل محیطی با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر به شرح جدول (۱) در محیط نرم افزار Arc GIS 9.3 تهیه شد. لایه‌های فیزیوگرافی (شیب و جهت) با استفاده از نقشه ارتفاع (DEM) تهیه گردید.

غیاب در ۵۰ سایت مطالعاتی استفاده شد. بدین منظور ابتدا به وسیله پیمایش صحرایی تیپ‌هایی که در آن گونه مورد مطالعه به صورت غالب حضور داشت مشخص گردید و سپس در هر تیپ نقاط حضور گونه با دستگاه GPS مشخص شد و به صورت یک نقشه وکتوری از نقاط، نمایش داده شد. داده‌های اقلیمی از مرکز اطلاعات هواشناسی (IPCC) برای سه دوره زمانی حال حاضر، سال

جدول ۱. متغیرهای محیطی به کار رفته در فرایند مدل‌سازی

ردیف	نوع متغیر اقلیمی	واحد	ردیف	نوع متغیر اقلیمی	واحد
۱	میانگین درجه حرارت سالیانه	درجه سانتی گراد	۱۲	بارندگی سالیانه	میلی متر
۲	میانگین درجه حرارت روزانه	درجه سانتی گراد	۱۳	بارندگی مرطوب‌ترین ماه	میلی متر
۳	هم دمایی	--	۱۴	بارندگی خشک‌ترین ماه	میلی متر
۴	درجه حرارت فصلی	درجه سانتی گراد	۱۵	بارندگی فصلی	میلی متر
۵	ماکزیمم درجه حرارت گرم‌ترین ماه	درجه سانتی گراد	۱۶	بارندگی مرطوب‌ترین فصل سال	میلی متر
۶	مینیمم درجه حرارت سردترین ماه سال	درجه سانتی گراد	۱۷	بارندگی خشک‌ترین فصل سال	میلی متر
۷	دامنه درجه حرارت سالیانه	درجه سانتی گراد	۱۸	بارندگی گرم‌ترین فصل سال	میلی متر
۸	میانگین درجه حرارت مرطوب‌ترین فصل سال	درجه سانتی گراد	۱۹	بارندگی سردترین فصل سال	میلی متر
۹	میانگین درجه حرارت خشک‌ترین فصل سال	درجه سانتی گراد	۲۰	ارتفاع	متر از سطح دریا
۱۰	میانگین درجه حرارت گرم‌ترین فصل سال	درجه سانتی گراد	۲۱	شیب	درجه
۱۱	میانگین درجه حرارت سردترین فصل سال	درجه سانتی گراد	۲۲	جهت	$1+\cos(45-\alpha)$



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهرستان فریدونشهر) در کشور و استان اصفهان

رابطه (۱) که عملاً می‌تواند برای هر شکلی از داده‌ها به کار رود (Hasti & Tibshirani 1990).

$$Y = b_0 + f_1(X_1) + f_2(X_2) \dots + f_m(X_m) \quad (1) \text{ رابطه}$$

جهت مدل‌سازی پراکنش مکانی و تعیین ارتباط گونه گیاهی کرفس کوهی با عوامل محیطی از روش افزایشی تعمیم یافته از گروه مدل‌های متمایز کننده گروهی (غیر پارامتریک) با کمک نرم افزار R استفاده شد بدین صورت که حضور و غیاب گونه کرفس کوهی به‌عنوان متغیر وابسته (Y) و ۲۲ متغیر محیطی شامل عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی به‌عنوان متغیرهای مستقل یا پیشگو (X) انتخاب گردید. به منظور کاهش تعداد متغیرها همراه با افزایش دقت در پیش‌بینی مدل، از روش‌های ماتریس همبستگی و PCA استفاده شد. بهترین مدل برازش شده از فضای ریاضی به فضای جغرافیایی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS تعمیم یافت و نقشه رخداد گونه کرفس کوهی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

به منظور ارزیابی نقشه تولیدی، از شاخص آماری کاپا و سطح زیر منحنی پلات‌های ROC استخراج شده از ماتریس خطا استفاده گردید. ضریب کاپا بیانگر میزان توافق مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد. مقدار کاپا از صفر تا یک تغییر می‌کند. هر چه مقدار کاپا به یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده توافق بهتر مدل با دنیای واقعی است. مقدار کاپا با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (Tarkesh & Jetschke, 2012).

$$\text{رابطه (۲)} \\ k = \frac{\left(\frac{a+b}{n}\right) \frac{(a+b)(a+c) + (c+d)(d+b)}{n^2}}{1 - \frac{(a+b)(a+c) + (c+d)(d+b)}{n^2}}$$

منحنی ROC از پلات کردن نقاط حضور واقعی در برابر عدم حضور کاذب حاصل می‌شود. سطح زیر منحنی (ROC) برابر با احتمال قدرت تشخیص میان نقاط حضور و عدم حضور مدل بوده و از نیم تا یک تغییر می‌کند. هرچه عدد حاصله به یک نزدیکتر باشد، بیان‌گر تطابق

گونه کرفس کوهی در زبان فارسی کلوس هم نامیده می‌شود. این گیاه در ارتفاعات و مناطق برف گیر ناحیه زاگرس مرکزی و با حداقل ارتفاع ۲۵۰۰ متر از سطح دریا و بارش سالیانه حدود ۴۰۰ میلی‌متر که اغلب به صورت برف است، رویش می‌یابد. این گونه در استان اصفهان دارای پراکنش کمی است و عمده‌ترین رویشگاه طبیعی این گیاه در بخشی از مراتع شهرستان فریدون‌شهر است. این گیاه در اوایل دوره رویشی به دلیل فشردگی برگ‌های قاعده‌ای، به شکل غنچه است و به شدت توسط مردم محلی برداشت و در بازارهای محلی به فروش می‌رسد. به دلیل برداشت بی‌رویه آن در اوایل دوره رویشی، تقاضای زیاد در بازار محلی، زمان نسبتاً زیاد استقرار و تولید بذر، این گیاه فرصت تجدید حیات و تولید بذر را نداشته و به همین دلیل گسترش جغرافیایی و تراکم جمعیت این گیاه در دهه‌های اخیر به شدت کاهش یافته و حیات آن در معرض خطر جدی قرار گرفته است، به طوری که یکی از گیاهان در حال انقراض ایران محسوب می‌شود (Salimi et al., 2009).

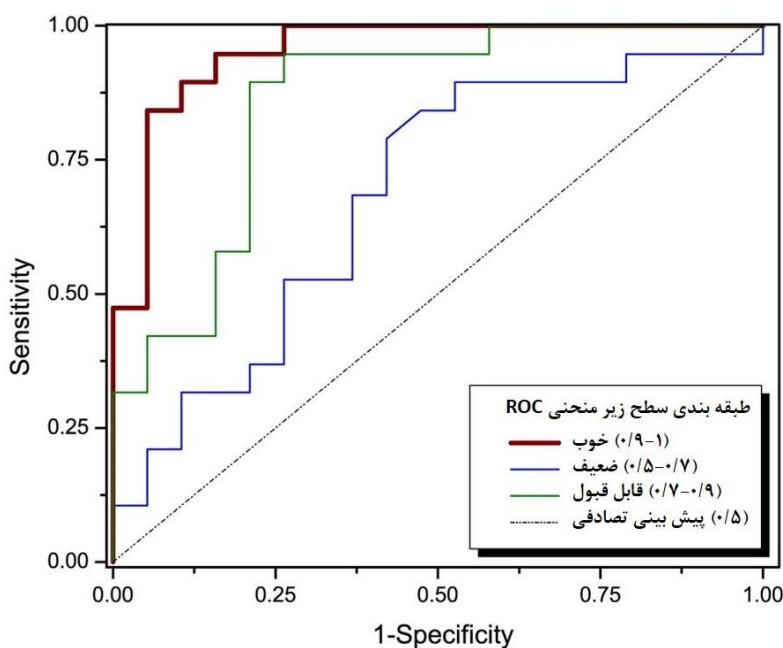
مدل افزایشی تعمیم یافته یک مدل رگرسیون نیمه پارامتریک است که علاوه بر شناسایی روابط خطی، قادر به کشف روابط غیرخطی بین متغیرها نیز می‌باشد. این مدل به خاطر انعطاف‌پذیری در تعیین نوع رابطه و درجه ارتباط و قابلیت تفسیر بالای آن، به یک مدل محبوب تبدیل شده است و آن را می‌توان برای طیف گسترده‌ای از داده‌ها و کاربردها استفاده کرد (Isaaks & Srivastava 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 تعمیم 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 مدل‌های جمعی تعمیم یافته آن است که به جای پیش‌فرض‌های پارامتری غیر قابل انعطاف، رابطه بین متغیر پاسخ و مستقل به وسیله تابع هموارساز است

مدل گردش عمومی Hadcm3 تحت سناریو A2 که برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ میلادی پیش‌بینی شده‌اند، استفاده گردید که نتیجه آن تولید نقشه‌های پراکنش بالقوه کرفس کوهی برای سال مورد نظر است.

بهرتر مدل با واقعیت است. پس از اطمینان از کارآمد بودن مدل GAM برای پیش‌بینی جغرافیایی کرفس کوهی، با فرض ثابت بودن ارتباط طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ به کار برده شد. بدین منظور از داده‌های اقلیمی پیش‌بینی شده توسط دو

جدول ۲. طبقه‌بندی ضرایب کاپا (Landis & Koch, 1977)

دامنه	طبقه‌بندی ضرایب
۰-۰/۴	ضعیف
۰/۴-۰/۷۵	خوب
۰/۷۵-۱	عالی

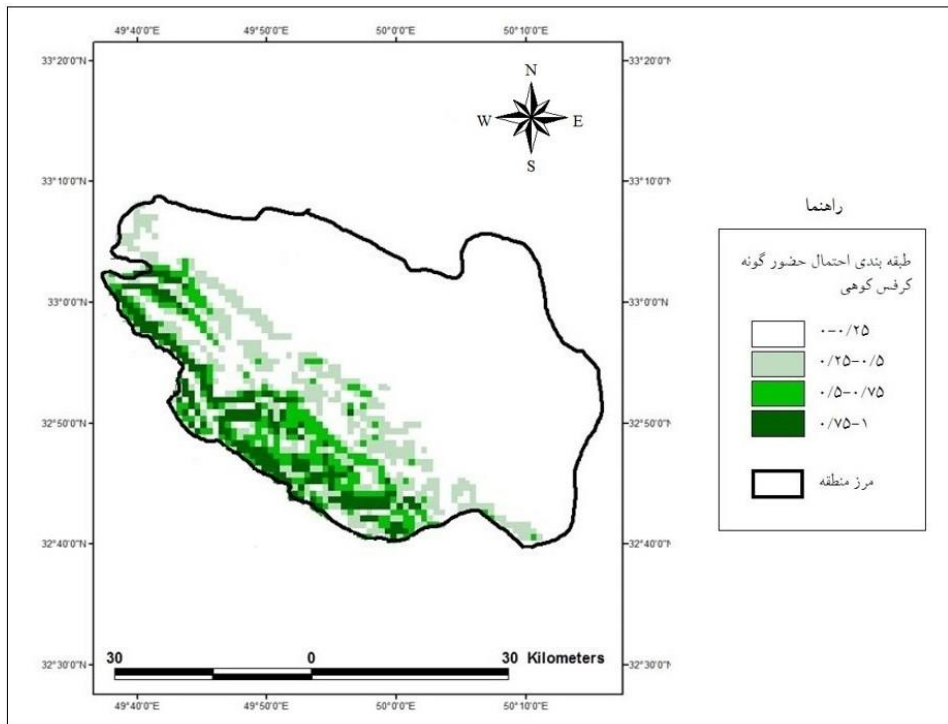


شکل ۲. طبقه‌بندی سطح زیر منحنی ROC (Sweets, 1988)

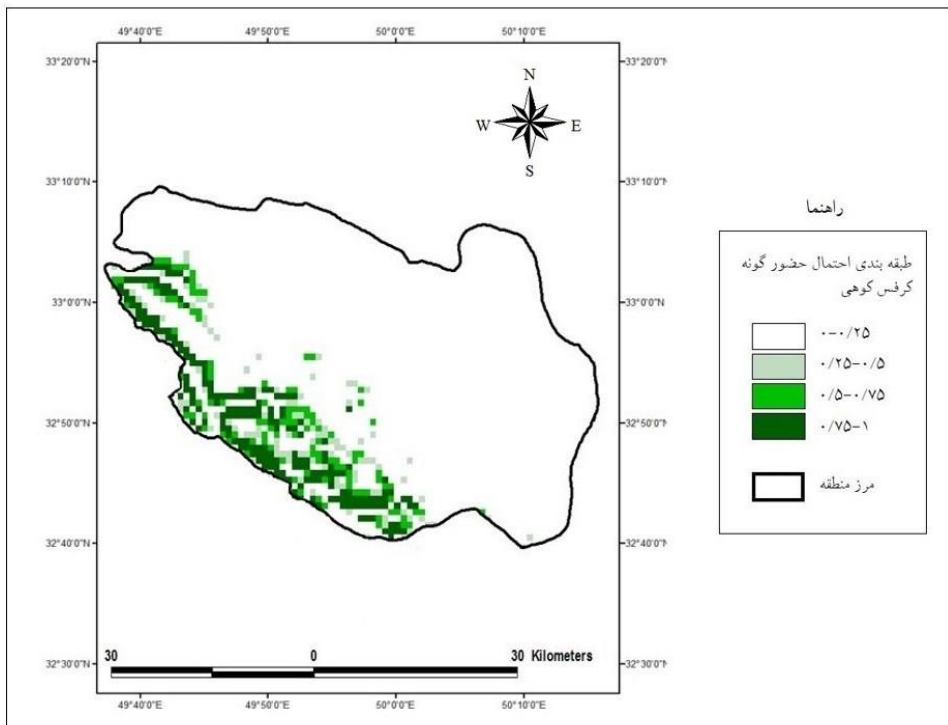
نهایی انتخاب شد و نقشه‌های رخداد گونه تولید گردید. ارزش پیکسل‌های نقشه نهایی در دامنه ۰ (غیاب) تا ۱ (حضور) به صورت پیوسته تغییر می‌کند (شکل ۳، ۴ و ۵).

۳. نتایج

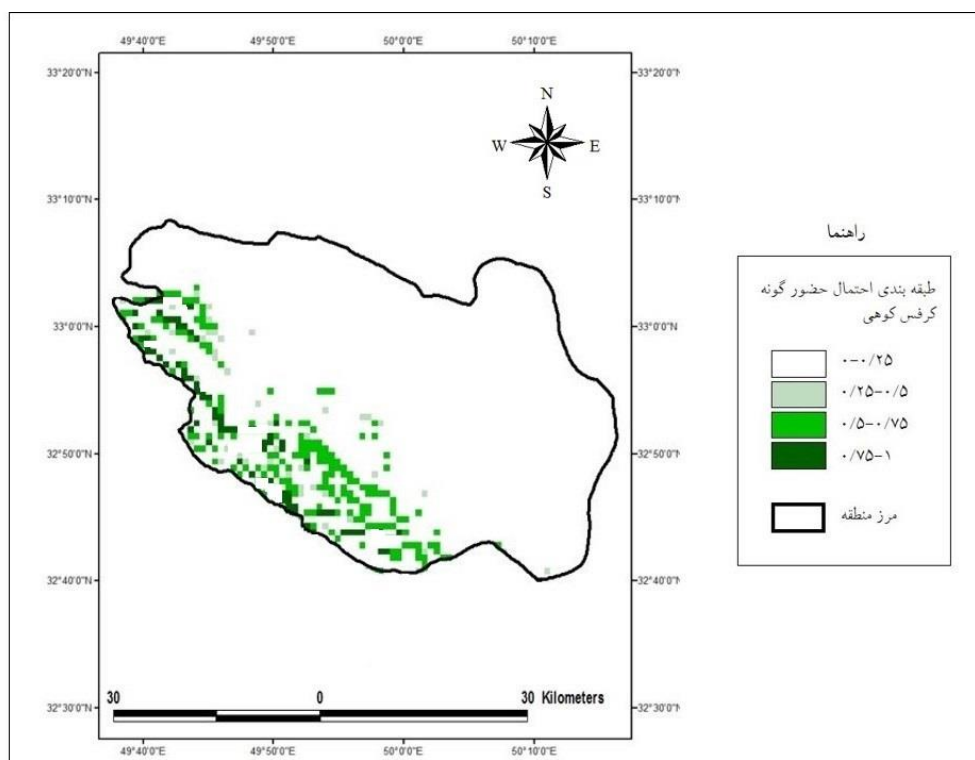
از میان ۱۹ متغیر اقلیمی و ۳ متغیر فیزیوگرافی، دو متغیر اقلیمی (میانگین درجه حرارت سالیانه و بارندگی سالیانه) و دو متغیر توپوگرافی (ارتفاع و شیب) در مدل



شکل ۳. نقشه رویشگاه بالقوه کرفس کوهی در شهرستان فریدونشهر در حال حاضر



شکل ۴. نقشه رویشگاه بالقوه کرفس کوهی در شهرستان فریدونشهر در سال ۲۰۳۰



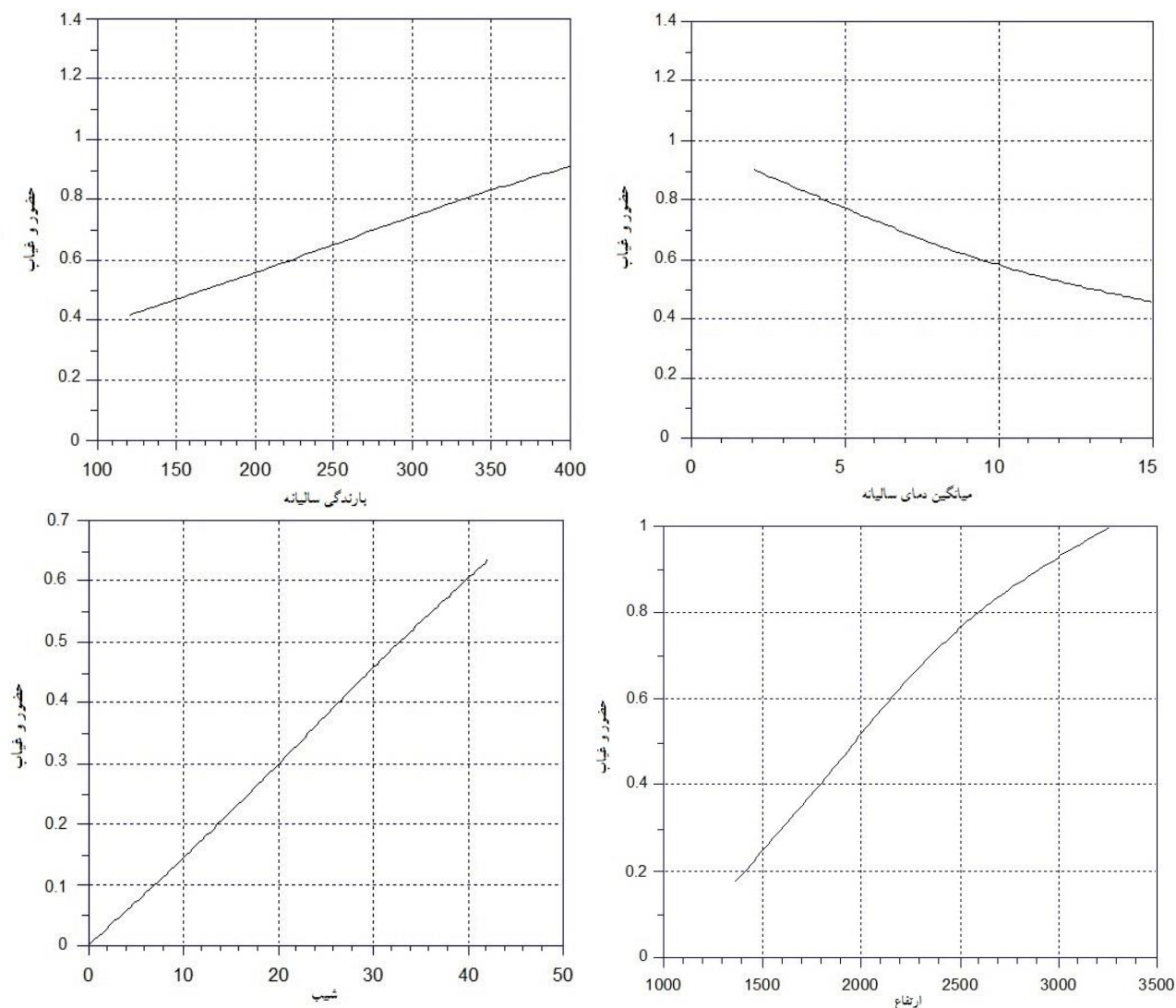
شکل ۵. نقشه رویشگاه بالقوه کرفس کوهی در شهرستان فریدونشهر در سال ۲۰۸۰

۳۰ درجه باشد (شکل ۶).

۱.۳. ارزیابی مدل

نتایج حاصل از ارزیابی نقشه پراکنش با استفاده از داده‌های مدل و ماتریس خطا نشان داد که مدل پیش‌بینی شده با مقدار ضریب کاپای ۰/۹۷ دارای تطابق عالی (براساس طبقه‌بندی لندیس) و سطح زیر منحنی پلات برابر ۰/۹۸ دارای تطابق خوب نقشه خروجی با واقعیت زمین است (شکل ۷).

با توجه به تعیین دامنه بردباری و تعیین منحنی واکنش گونه به هریک از متغیرهای محیطی مؤثر روی پراکنش جغرافیایی آن، منحنی پاسخ گونه به هریک از متغیرهای محیطی استخراج شد. این منحنی‌ها نشان می‌دهد که بهترین حالت متغیرهای اقلیمی برای رخداد گونه کرفس کوهی زمانی است که میانگین دمای سالیانه حدوداً بین ۲-۸ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالیانه بین ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر باشد. برای متغیرهای توپوگرافی بهترین حالت زمانی است که ارتفاع بین ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر از سطح دریا و میزان شیب منطقه بیشتر از



شکل ۶. منحنی‌های عکس‌العمل گونه کرفس کوهی نسبت به عوامل محیطی

واقعیت زمینی			پیش‌بینی
	+	-	
+	۲۴	۲	
-	۱	۲۳	

شکل ۷. ارزیابی مدل با استفاده از ماتریس ۲×۲

۴. بحث و نتیجه گیری

دلیل پراکنش جغرافیایی محدود و عدم شناخت کافی از آن بسیار ناچیز است (Salimi et al., 2009). برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم روی پراکنش گونه کرفس کوهی، روند تغییرات میانگین و انحراف معیار پارامترهای اقلیمی مؤثر بررسی شد (جدول ۳). میانگین دمای سالیانه برای سال ۲۰۳۰، ۰/۲ درجه سانتیگراد نسبت به حال حاضر افزایش می‌یابد در حالی که برای سال ۲۰۸۰، ۱/۶ درجه سانتیگراد نسبت به زمان حال افزایش پیش‌بینی می‌گردد. میزان بارش سالیانه نیز برای سال ۲۰۳۰ با تغییرات زیادی همراه است به طوری که ۶۰ میلی‌متر کاهش بارش پیش‌بینی می‌شود و برای سال ۲۰۸۰ این کاهش ۷۷ میلی‌متر پیش‌بینی شده است.

مدل‌های پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی به کمک روش‌های آماری جدید و قدرتمند و ابزارهایی چون GIS به طور گسترده‌ای در علوم اکولوژی توسعه یافته است. این مدل‌ها ایستا و احتمالی هستند و روابط ریاضی حاکم بر توزیع جغرافیایی یک گونه معین را با محیط فعلی و حتی شرایط آینده آن مشخص می‌کنند. گیاه کرفس کوهی به دلیل خواص دارویی اثبات شده متعدد و همچنین به دلیل ارتفاع نسبتاً زیاد از لحاظ زیبا شناختی منظر و به دلیل سطح پوششی وسیع روی شیب‌ها از لحاظ حفاظت خاک دارای اهمیت فراوانی است، اما مطالعات انجام شده بر روی کرفس کوهی به

جدول ۳. مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای اقلیمی مؤثر در پراکنش کرفس کوهی در فریدونشهر برای دوره‌های مختلف

متغیر	میانگین حال حاضر	میانگین ۲۰۳۰	میانگین ۲۰۸۰	انحراف معیار حال حاضر	انحراف معیار ۲۰۳۰	انحراف معیار ۲۰۸۰
دمای سالیانه (C)	۵/۵	۵/۷	۷/۱	۵/۸	۵/۸	۵
بارش سالیانه (mm)	۴۵۵	۳۱۵	۲۹۸	۸۶	۹۸/۹	۹۵/۹

نامناسب تبدیل شوند. برای سال ۲۰۸۰ تحت سناریو A2 احتمال رخداد کلاس تناسب عالی حدوداً ۱۰ درصد، کلاس مناسب ۰/۳ درصد و کلاس تناسب کم حدود ۷ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که کلاس نامناسب حدوداً ۱۸ درصد نسبت به زمان حال افزایش داشته است. این تغییرات می‌تواند ناشی از افزایش میانگین دمای سالانه و کاهش بارندگی سالانه باشد که موجب می‌شود شرایط اقلیمی مناسب برای گونه به سمت مناطق مرتفع در غرب و جنوب غربی شهرستان فریدونشهر حرکت کند، به طوری که احتمال رخداد ۱-۰/۷۵ (کلاس تناسب عالی) برای سال ۲۰۸۰ به مقدار خیلی ناچیز باقی می‌ماند. منحنی‌های عکس العمل تولید شده توسط مدل افزایشی تعمیم یافته مؤید تغییرات این گونه هستند.

جهت بررسی تغییرات هر کدام از کلاس‌های رویشگاهی کرفس کوهی نقشه رویشگاه بالقوه تولید شده برای زمان حال و ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ در چهار کلاس طبقه‌بندی شد و جدول درصد تغییر مساحت آن‌ها به دست آمد (جدول ۴). نتایج به دست آمده از مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه کرفس کوهی بر اساس داده‌های مدل Hadcm3 برای سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که تحت سناریو A2 احتمال رخداد کلاس تناسب عالی ۰/۳ درصد، کلاس مناسب، ۴ درصد و کلاس تناسب کم ۵ درصد کاهش یافته است و بر وسعت احتمال رخداد کلاس نامناسب حدوداً ۱۰ درصد افزوده شده است که این تغییرات می‌تواند ناشی از کاهش بارندگی سالانه باشد که موجب می‌شود مناطقی که در کلاس مناسب و تناسب کم هستند دچار کمبود رطوبت گردند و به حالت

جدول ۴. درصد مساحت هر طبقه از رویشگاه برای زمان‌های مختلف

طبقه‌بندی رویشگاه	تناسب رویشگاه	مساحت (%) برای حال حاضر	مساحت (%) برای سال ۲۰۳۰	مساحت (%) برای سال ۲۰۸۰
طبقه ۱ (۰-۰/۲۵)	نا مناسب	۶۱/۶	۷۱/۹	۷۹/۲
طبقه ۲ (۰/۲۵-۰/۵)	تناسب کم	۱۱/۵	۶/۵	۴/۳
طبقه ۳ (۰/۵-۰/۷۵)	مناسب	۱۴/۵	۱۰/۵	۱۴/۲
طبقه ۴ (۰/۷۵-۱)	تناسب عالی	۱۲/۴	۱۲/۱	۲/۳

مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای می‌توانند آشنیان اکولوژیک یا رویشگاه بالقوه گونه را نشان دهند ولی به دلیل عدم استفاده از سایر عامل‌های مؤثر در پراکنش گونه‌ای در مدل همچون عوامل بیولوژیکی (رقابت، همزیستی و...) و عوامل انسانی و مدیریتی (چرای دام، آتش‌سوزی و غیره) امکان تعیین رویشگاه بالفعل گونه میسر نیست. به همین دلیل با توجه به مشاهدات صحرایی، اولین و مهم‌ترین عامل فشار بر این گونه بهره‌برداری غیرقانونی و زود هنگام است، به طوری که بوته کنی نادرست و بی رویه باعث شده رویشگاه این گونه به مناطق مرتفع و صعب‌العبور منتقل شود. طبق گفته مردم محلی در کمتر از ۴۰ سال پیش رویشگاه این گونه تا حاشیه راه‌های عبور روستاییان و عشایر ادامه داشته است.

طبق مطالعات انجام شده توسط Berry و همکاران (۲۰۰۲) جوامع بوته‌زار کوهستانی بیشترین حساسیت را به تغییر اقلیم دارند. دومین عامل که باعث در خطر قرار گرفتن این گونه شده است، تغییرات اقلیمی است که کاهش بارندگی سالانه باعث کاهش رطوبت در دسترس این گیاه می‌گردد و افزایش میانگین دمای سالانه که می‌تواند باعث مهاجرت این گونه به مناطق مرتفع و با

دمای کمتر شود که مطالعه حاضر مؤید این موضوع است. روش‌های مدل‌سازی رویشگاه به‌عنوان روش‌های کم هزینه و اقتصادی در تعیین رویشگاه بالقوه گیاهان کاربرد فراوان دارند. به کمک این روش‌ها می‌توان به شناسایی رویشگاه مناسب گونه‌های با اهمیت اقتصادی، حفاظتی و گونه‌های نادر پرداخت که به حفظ تنوع زیستی کمک شایانی می‌نماید. نقشه حاصل از مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه گیاهی علاوه بر تعیین عوامل مؤثر در پراکنش گونه گیاهی، دامنه پراکنش جغرافیایی آن گونه را نیز نمایش می‌دهد و می‌تواند فرضیات اکولوژیکی جدیدی را جهت تحقیقات آینده فراهم کند. آگاهی از ویژگی‌های محیطی رویشگاه هر گونه گیاهی نقش مؤثری در پیشنهاد گونه‌های سازگار با شرایط محیط در مناطق مشابه دارد، بنابراین می‌توان از نتایج این تحقیق در جهت حفاظت این گونه و اصلاح و احیای پوشش گیاهی مناطق با شرایط مشابه استفاده کرد که یکی از دستاوردهای مهم این تحقیق است. همچنین از نتایج این تحقیق می‌توان برای تهیه نقشه پوشش گیاهی در معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتع نظیر بذرکاری و بوته‌کاری استفاده کرد.

References

- Ahmadi, F., Kadivar, M., Shahedi, M., 2007. Antioxidant activity of *Kelussia odoratissima* Mozaff. in model and food system. Food Chemistry 105, 57-64.
- Attorre, F., Francesconi, F., Taleb, N., Scholte, P., Saed, A., Alfo, M., & Bruno, F. 2007. Will dragonblood survive the next period of climate change? Current and future potential distribution of *Dracaena cinnabari* (Socotra, Yemen). Biological Conservation, 138(3), 430-439.

- Austin, M. P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological modelling*, 157(2), 101-118.
- Berry, P. M., Dawson, T. P., Harrison, P. A., & Pearson, R. G. 2002. Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland. *Global Ecology and Biogeography*, 11(6), 453-462.
- Guisan, A., Edwards Jr, T. C., & Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological modelling*, 157(2), 89-100.
- Henderson, D. 2005. SRES, IPCC and the treatment of economic issues: what has emerged? *Energy & Environment*, 16(3), 549-578.
- Hastie, T., & Tibshirani, R. 1990. *Generalized additive models*. John Wiley & Sons, Inc.
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology*, 12(12), 2272-2281.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. 1989. An introduction to applied geostatistics. *Technometrics*, 33(4), 483-485.
- Iverson, L. R., & Prasad, A. M. 1998. Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the eastern United States. *Ecological Monographs*, 68(4), 465-485.
- Jongman, R. H., Ter Braak, C. J., & Van Tongeren, O. F. (Eds.). 1995. *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge university press.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometric*, 33, 159-174.
- Salimi, M., Ebrahimi, A., Shojaee Asadieh, Z & Saei Dehkordi, SS. 2009. Essential oil composition of *Kelussia odoratissima* Mozaff. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 147-156.
- Solomon, S. (Ed.). 2007. *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4)*. Cambridge University Press.
- Sweets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of Diagnostic system. *Science* 240, 1285-1293.
- Tanaka, N., Nakao, K., Tsuyama, I., Higa, M., Nakazono, E., & Matsui, T. 2012. Predicting the impact of climate change on potential habitats of fir (*Abies*) species in Japan and on the East Asian continent. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 455-466.
- Tarkesh, M., & Jetschke, G. 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. *Environmental and Ecological Statistics*, 19(3), 437-457.