DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2021.16797.1861

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دامنه پراکنش گونه *Prunus eburnea* (Spach) Aitch. & Hemsl. با استفاده از مدل مکسنت

(مقالهٔ پژوهشی)

۱- سمیه زنگی‌آبادی، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- حسن زارع مایوان*، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
zaremaih@modares.ac.ir
۳- حسین مصطفوی، گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۴- حجت‌اله رنجبر، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰

چکیده

تغییراقلیم تأثیر قابل توجهی بر پراکنش گیاهان در اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر نظیر رویشگاه‌های بادام خاکستری *Prunus eburnea* (Spach) Aitch. & Hemsl. دارد. بادام خاکستری از خانواده Rosaceae دارای اهمّیّت حفاظتی، غذایی بوده و گونه‌ای بومی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بطور گسترده می‌روید. اهداف اصلی این مطالعه شامل مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری با استفاده از مدل مکسنت و پیش‌بینی تاثیر تغییرات عوامل اقلیمی و نیز تعیین سهم هر عامل بر پراکنش آن در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی می‌باشد. ارزیابی صحت مدل مکسنت با استفاده از شاخص سطح زیر منحنی (۰/۹۴) بیانگر عملکرد عالی این مدل پیش‌بینی است. نتایج نشان داد که به ترتیب لایه‌های عمق خاک و میزان تابش نورخورشید با مقدار ۳۵/۴٪ و ۲۷/۳٪ بیشترین سهم را در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری دارند. بر اساس نقشه مطلوبیت رویشگاهی در شرایط کنونی اقلیمی پیش‌بینی می‌شود که مناطق جنوبی (استان‌های هرمزگان، بوشهر و فارس)، جنوب‌غربی (استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال بختیاری) و جنوب‌شرقی (استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و خراسان جنوبی) کشور شرایط محیطی مناسب در گسترش رویشگاه‌های این گونه داشته باشند. به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت رویشگاهی این گونه از سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP 8.5 مربوط به مدل انتشار گازهای گلخانه‌ای CCSM4 در سال ۲۰۸۰ استفاده گردید. براساس مدل مکسنت وسعت مناطق مطلوب رویشگاهی این گونه در شرایط اقلیمی کنونی ۸۶۲۱۱۳ کیلومتر مربع می‌باشد که پیش‌بینی می‌گردد در سال ۲۰۸۰ مناطق مطلوبی که این گونه از دست خواهد داد ۳۶/۱۴ درصد و مناطق مطلوب جدیدی که این گونه بدست خواهد آورد ۸/۹ درصد باشد. پیش‌بینی می‌گردد وسعت مناطق مطلوب رویشگاهی این گونه در آینده به ۶۲۷۲۷۳ کیلومتر مربع کاهش یابد. نتایج مدل‌سازی، ضرورت برنامه ریزی برای بهره‌برداری و حفاظت از رویشگاه‌های بادام خاکستری را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، بادام خاکستری، مطلوبیت رویشگاه، متغیرهای محیطی

مقدّمه

بررسی عوامل محیطی که سبب تغییر در ترکیب پوشش گیاهی و تنوع گونه‌های گیاهی در مناطق مختلف می‌شود، از مهم‌ترین چالش‌های بوم‌شناسی است. مهم‌ترین عوامل محیطی که پراکنش و ترکیب پوشش گیاهی را در مناطق مختلف تحت تأثیر خود قرار می‌دهند، عوامل خاکی، توپوگرافی و اقلیمی است [۱۶].

کشف روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی، از مطالعات پایه‌ای در مدیریت دقیق و برنامه‌ریزی اکوسیستم به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. آگاهی و درک صحیح و واقع‌بینانه از این روابط، برای مدیریت اصولی و بهره‌برداری پایدار از چنین اکوسیستم-هایی، ضروری است [۳۴]. با توجه به اینکه بیش از نیمی

از ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، شناخت دامنهٔ پراکنش گونه‌های این مناطق و پیش‌بینی تغییرات آن در اثر تغییر اقلیم به دلیل شرایط حساس و شکننده این اکوسیستم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه تخریب اکوسیستم‌ها همراه با افزایش جمعیت باعث تهدید بسیاری از گونه‌ها و در نهایت برهم خوردن تعادل اکولوژیکی این اکوسیستم‌ها شده است [۷]. شناخت این روابط می‌تواند در بازسازی، احیا و جلوگیری از تخریب اکوسیستم‌ها کمک بسیاری نماید.

تغییرات اخیر آب و هوایی تأثیر زیادی بر تنوع‌زیستی داشته و توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهی را تغییر داده است و روند در سطح جهانی قابل مشاهده است. تحقیقات بیشتر در سطح محلی و منطقه‌ای برای بهبود درک الگو-های تغییر و ایجاد راهکارهای مناسب حفاظت از محیط زیست می‌تواند زیان‌های فرهنگی، بهداشتی و اقتصادی را به حداقل برساند [۹]. گونه بادام خاکستری (*P. eburnea*) متعلّق به خانواده Rosaceae است که پراکنش وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور دارد. این گونه اغلب در مناطق کوهستانی و در کوهپایه‌ها و در خاک‌های شنی و سنگلاخی رشد می‌نماید [۲۷].

مدل مکسنت

امروزه یکی از مدل‌های پر کاربرد پیش‌بینی مطلوبیت رویشگاه، مدل مکسنت می‌باشد که براساس داده‌های حضور و تخمین احتمال ناشناخته‌های توزیع آنها بوده و توانایی خوبی در این زمینه نشان داده است [۹]. در مواردی که تعداد نمونه‌ها کم است، پیش‌بینی روش آنتروپی حداکثر دقّت بالایی دارد و با روش‌هایی از جمله شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک که بیشترین دقّت را دارند، قابل رقابت است [۳۳ و ۴].

این مدل تنها از داده‌های حضور به منظور مدل‌سازی استفاده می‌نماید که اغلب از اطلاعات مجموعه‌های تاریخ طبیعی (NHCs) و هرباریوم‌ها با توجه به مقدار اطلاعات موجود و قابلیت دسترسی به آنها به عنوان داده‌های حضور استفاده می‌شود [۱۸].

مدل مکسنت[1] یک مدل آماری می‌باشد که برای اینکه بتواند توزیع گونه‌ای را بدست آورد، ارتباطی را میان مدل داده‌ای و مدل اکولوژیکی ایجاد می‌نماید [۹]. این مدل مناسب بودن رویشگاه را براساس همبستگی‌ها و روابط بین حضور گونه و شرایط محیطی تشخیص می‌دهد [۱۸]. مطلوبیت هر سلول در رویشگاه به صورت تابعی از متغیر-های زیست محیطی بیان می‌شود [۳۳]. در مدل مکسنت ابتدا لایه‌های اطلاعاتی محیطی بر اساس موقعیت داده‌های آموزشی (نقاط حضور آموزشی) ارزیابی شده و سپس احتمال حضور هر یک از گونه‌ها در کل منطقه مطالعاتی بررسی می‌شود [۴]. از مزایای مهمّ مدل مکسنت می‌توان به توانایی این مدل به مدل‌سازی با صحّت بالا با تعداد کم نقاط حضور (حتی با ۵ نقطه) اشاره نمود که این امر در مدل‌سازی گونه‌های اندمیک و در معرض خطر انقراض که تعداد نقاط حضور اندک می‌باشد، اهمیت بسیاری دارد [۳۳].

مطالعات بسیاری به بررسی قابلیت مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی با استفاده از مدل مکسنت پرداخته-اند. در پژوهشی به بررسی مطلوبیت رویشگاهی گونه *Brassica tournefortii* در تونس و تغییر آن تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از مدل مکسنت پرداخته شده است [۳۴]. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به توان سازگاری بالای این گونه، پیش‌بینی می‌شود که پراکنش واقعی این گونه تحت تأثیر تغییر اقلیم بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل مطلوبیت رویشگاهی مکسنت باشد.

در پژوهشی به مدل‌سازی رویشگاه‌های گونه‌های *Artemisia sieberi* و *Artemisia aucheri* با استفاده از مدل‌های ENFA و MaxEnt در مراتع شمال شرق استان سمنان پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل مکسنت از صحّت خوبی برخوردار می‌باشد. همچنین مقدار رس، سنگریزه، رطوبت قابل دسترس عمق اوّل خاک و آهک عمق اوّل و دوّم خاک مهم‌ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه *A. aucheri* بوده و عوامل درصد سیلت و آهک عمق اوّل خاک و ارتفاع در پراکنش گونه *A. sieberi* بیشترین تأثیر را داشتند [۲۶].

[1] Maxent

در پژوهشی به منظور بررسی اثر تغییرات آب و هوایی بر روی ۸۲ گونه گیاهی در معرض تهدید در ۱۶۸ ذخیره-گاه طبیعی چین از مدل مکسنت به منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی استفاده گردید. نتایج نشان دادند که با توجه به سناریوهای مختلف اقلیمی مطلوبیت شرایط آب و هوایی برای بیش از ۶۰ گونه گیاهی در معرض تهدید، کاهش می‌یابد و تغییرات آب و هوایی، مطلوبیت زیستگاه گونه‌های گیاهی را در بیش از ۱۳۰ ذخیره‌گاه طبیعی تهدید می‌کند [۴۴].

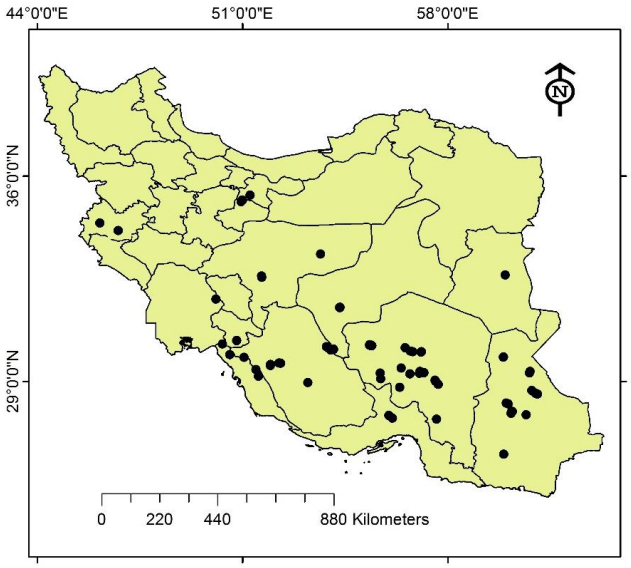
پژوهش حاضر به منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری با استفاده از مدل مکسنت و پیش‌بینی تغییرات مطلوبیت رویشگاهی این گونه تحت شرایط تغییر اقلیم (سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای ۸/۵ در سال ۲۰۸۰ و همچنین تعیین سهم مشارکت متغیرهای محیطی در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی این گونه انجام شد.

مواد و روش‌ها

اطلاعات گونه‌ای

با استفاده از اطلاعات موجود در فلور ایران [۲۷]، فلورا ایرانیکا [۳۵]، فلور ایران [۲] و همچنین اطلاعات و نمونه-های موجود در هرباریوم مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی در شهرهای مختلف کشور از جمله شیراز، کرمان و یزد و هرباریوم دانشگاه شهید باهنر کرمان و همچنین مطالعه مقالات متعدد، جمع‌آوری اطلاعات پراکنشی و شناسایی رویشگاه‌هایی گونه بادام خاکستری انجام شد.

پس از بررسی اطلاعات جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار GIS و Google earth صحت و موقعیت نقاط بررسی شد و در نهایت تعداد ۷۶ نقطه پراکنش این گونه تعیین گردید. شکل ۱ نقشه پراکنش گونه بادام خاکستری بر اساس اطلاعات موجود در منابع را نشان می‌دهد.



شکل۱- پراکنش گونه *Prunus eburnea* در ایران

متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی

آن دسته از متغیرهای محیطی در مدل‌سازی استفاده می-گردند که نقش مهمی در پراکنش گونه مورد بررسی داشته باشند. بنابراین با توجه به ویژگی‌های اکولوژیک گونه، دانش موجود پیرامون ویژگی‌های رویشگاه‌های آن و نظر متخصصان اکولوژی گیاهی همه لایه‌های موجود که دارای اهمیت اکولوژیک برای گونه مورد مطالعه بودند، بررسی گردید.

در پژوهش حاضر لایه‌های اقلیمی و توپوگرافی[1] [۲۲ و ۱۳] و لایه‌های خاک[2] [۱۹] دریافت شد. لایه‌های اقلیمی مورد استفاده در این مطالعه از میانگین متغیرهای دما و

[1] www.worldclim.org
[2] www.soilgrid.org

بارش طی دوره ۳۰ ساله (سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰) استخراج گردیده‌اند که بیانگر شرایط فصلی، میانگین و آستانه این متغیرها هستند. از این لایه‌ها به منظور تعیین بهترین لایه‌هایی که توانایی توضیح ویژگی‌های اکولوژیک رویشگاه‌های *P. eburnea* را دارند استفاده شد.

تمام لایه‌های مورد استفاده در سیستم تصویر طول و عرض جغرافیایی با پیکسل سایز ۱×۱ کیلومتر تنظیم گردید. پس از تعیین لایه‌هایی که دارای اهمیت اکولوژیک برای این گونه بودند، لایه‌ها با استفاده از کتابخانه "Raster" [۲۱] در محیط نرم‌افزار R، پیش‌پردازش و استانداردسازی و تنظیم شد. به منظور اجتناب از تطابق بیش از حد و مشکلات ناشی از همبستگی بالا بین لایه‌ها [۴۳و ۳۰]، آزمون همبستگی اسپیرمن بین لایه‌ها انجام شد [۱۷]. لایه متغیرهایی که همبستگی بیشتر از ۷۰٪ با یکدیگر داشتند بر اساس اهمیت اکولوژیک برای گونه مورد بررسی از آنالیزهای بعدی حذف گردید [۱۴و ۳]. در آخر ۱۲ لایه محیطی به منظور ادامه مطالعات انتخاب گردید (جدول ۱). لایه‌های مختلف توپوگرافی با استفاده از ابزار Arcgeomorphometry [۴۱] در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.1 [۱۱] تهیه گردید.

جدول ۱- لایه‌های محیطی استفاده شده به منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری

نام متغیر	توضیح (Description)	نام مختصر متغیر
ایزوترمالیتی	Isothermality (Bio 2/ Bio 7) (* 100)	Bio3
دمای فصلی	Temperature seasonality (standard deviation *100) (°C)	Bio4
میانگین دمای سردترین فصل سال	Mean temperature of coldest quarter (°C)	Bio11
بارش فصلی	Precipitation seasonality (coefficient of variation) (mm)	Bio15
بارش در خشک‌ترین فصل	Precipitation of driest quarter (mm)	Bio17
تابش خورشید	Solar radiation (kJ m^{-2} day^{-1})	Solar radiation
قطعه‌های درشت خاک	Coarse fragments (volumetric) (cm3 cm−3)	Crfvol
محتوای کربن آلی خاک	Organic carbon content (g kg-1)	Orcdrc
درصد سیلت	Silt content (gravimetric) (kg kg-1)	Sltppt
شیب	Derived from DEM using Arc GIS 10.1 software	Slope
جهت شیب	Derived from DEM using Arc GIS 10.1 software	westness
جهت شیب	Derived from DEM using Arc GIS 10.1 software	southness

مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی

به منظور مدل‌سازی با مکسنت به صورت تصادفی از ۷۰ درصد نقاط حضور برای داده‌های آموزشی و از ۳۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی نتایج استفاده شد. تنظیم افزاینده ۱ و با حداکثرتکرار ۵۰۰، آستانه همگرایی ۵-۱۰ و با حداکثر نقاط پس زمینه ۱۰۰۰۰ برای اجرای مدل انتخاب شد. نتایج نهایی مدل بر اساس ۵ بار اجرای مدل و میانگین‌گیری از آنها به دست آمد [۹]. در امر مدیریت حیات‌وحش، رویشگاه‌ها و زیستگاه‌ها اگر نتایج به دست آمده از حضور گونه به صورت احتمال شرح داده شوند کارآیی بیشتری خواهد داشت [۲۹]، نقشه نهایی به صورت احتمال پیوسته‌ای از مطلوبیت رویشگاه رسم گردید.

به‌منظور بررسی صحّت مدل از شاخص سطح زیر منحنی استفاده گردید. این منحنی از طریق رسم حساسیت (حضورهایی که صحیح پیش‌بینی شده‌اند) در برابر اختصاصیت (عدم حضورهایی که غیرصحیح پیش-بینی شده‌اند) ترسیم می‌گردد. سطح زیر منحنی برابر با احتمال قدرت تشخیص میان نقاط حضور و عدم‌حضور توسط یک مدل است که هر چه مقدار این عدد مربوط به یک مدل بزرگ‌تر باشد، کارآیی نهایی مدل مطلوب‌تر ارزیابی می‌شود. به طور معمول اگر مقدار آن کمتر از ۰/۵ باشد و هنگامی که دامنه آن بین ۰/۵ تا ۰/۷ باشد ضعیف محسوب می‌شود و هنگامی که دامنه آن بین ۰/۷ تا ۰/۹ باشد، نتایج مدل خوب و هنگامی که بیشتر از ۰/۹ باشد، نتایج عالی محسوب می‌شود [۴۲].

برای تعیین مهم‌ترین متغیرها در مدل‌سازی مکسنت از شاخص جکنایف (Jackknife) و بررسی سهم مشارکت متغیرهای زیست محیطی استفاده شد. همچنین از منحنی پاسخ گونه‌ای برای برآورد میزان احتمال شرایط مطلوب پیش‌بینی شده برای هر یک از عوامل زیست محیطی استفاده شد [۹]. در واقع این منحنی‌ها نشان می‌دهند که چطور هر متغیر محیطی بر پیش‌بینی مکسنت تأثیر می‌گذارد. منحنی پاسخ گونه بیانگر احتمال حضور گونه در امتداد شیب تغییرات یک متغیر محیطی هنگامی که سایر متغیرهای محیطی در مقدار متوسط خود ثابت باشند، می‌باشد.

به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییر محدودهٔ مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری از سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای ۸/۵[1] مربوط به مدل انتشار گازهای گلخانه ای (CCSM4) استفاده گردید که این مدل توسط مرکز ملی مطالعات اتمسفری آمریکا[2] تهیه گردیده است و به وفور توسط محققان استفاده می‌گردد [۴۵]. همچنین مطالعات نشان داده است که این مدل انطباق بالایی با شرایط آب و هوایی ایران دارد [۱۵].

مدل مذکور از مجموع سناریوهای جدید منتشرهٔ RCP 4 است که هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از آن با عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای نام برده است. این سناریوهای بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایط می تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه ای و تغییرات اقلیمی گردد.

CCSM4 مدل جفت‌شده جهانی آب و هوا است که توسط مرکز ملی تحقیقات جوی با حمایت مالی بنیاد ملی علوم، وزارت انرژی و سازمان ملی هوانوردی و فضا آمریکا توسعه یافته است. این مدل از پنج مدل جداگانه اتمسفری، اقیانوسی، زمینی، زمین-یخ و دریا-یخ، به اضافهٔ یک مؤلفهٔ ترکیبی مرکزی تشکیل شده است [۴۵ و ۱۵].

به منظور مقایسه کمی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری در شرایط کنونی اقلیمی با شرایط اقلیمی آینده نقشه‌های پیوسته با آستانه ۰/۹ به نقشه‌های دوحالته (حضور و عدم‌حضور) تبدیل شد و سپس تفاضل دو نقشه بدست آمد [۹].

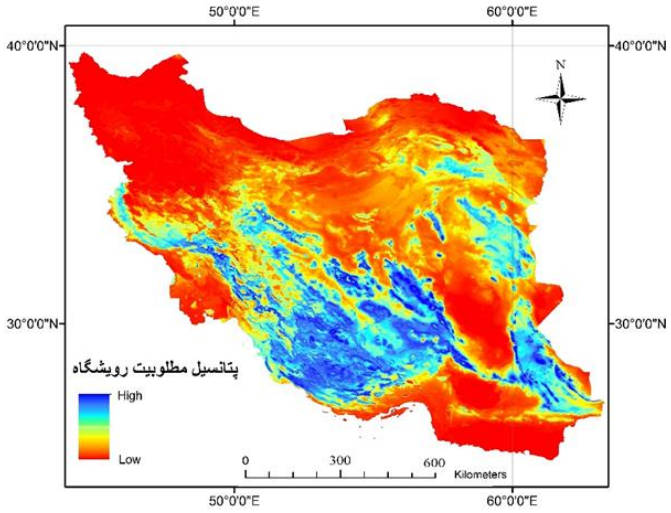
نتایج

به منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی با استفاده از مدل مکسنت از ۷۶ نقطه حضور و ۱۲ لایه زیست محیطی در محیط برنامه R استفاده گردید. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، میزان مطلوبیت رویشگاهی بین بیشترین و کمترین مقدار مطلوبیت در نظر گرفته شده است.

شیب مطلوبیت رویشگاه به طرف رنگ‌های سرد متمایل است بدین معنی که با حرکت به سمت رنگ آبی زیستگاه برای گونه *P. eburnea* مطلوبیت بیشتری دارد و با حرکت به سمت رنگ قرمز از مطلوبیت رویشگاه کاسته می‌شود.

براساس نقشه حاصل از مطلوبیت رویشگاهی با استفاده از مدل مکسنت پیش بینی می‌شود که مناطق جنوبی (استان‌های هرمزگان، بوشهر و فارس)، جنوب‌غربی (استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال بختیاری) و جنوب‌شرقی (استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و خراسان جنوبی) کشور شرایط محیطی مناسب‌تری برای گسترش رویشگاه‌های این گونه دارا هستند (شکل ۲).

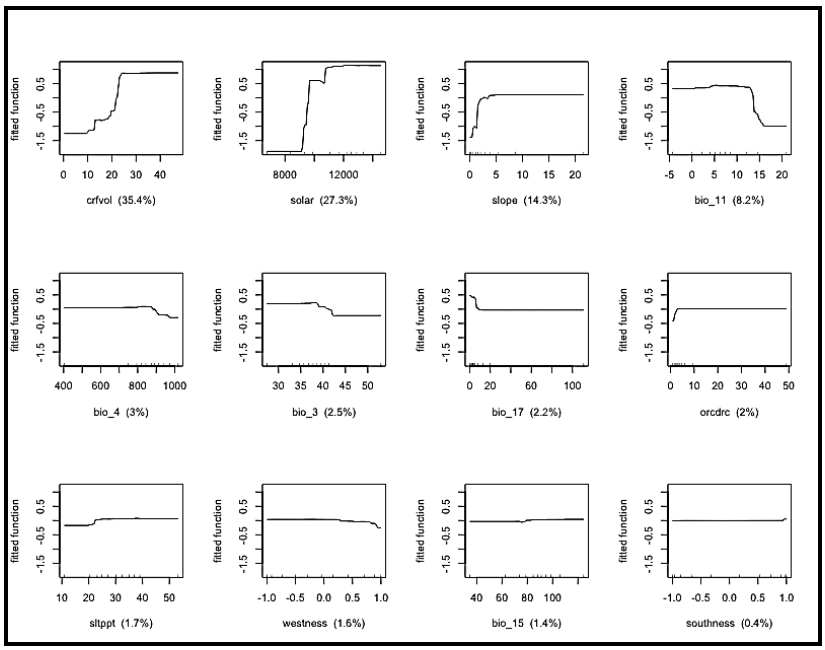
[1] Representative of Concentration Pathway (RCP)
[2] National Center for Atmospheric Research of USA



شکل ۳- پیش بینی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری در شرایط اقلیمی کنونی

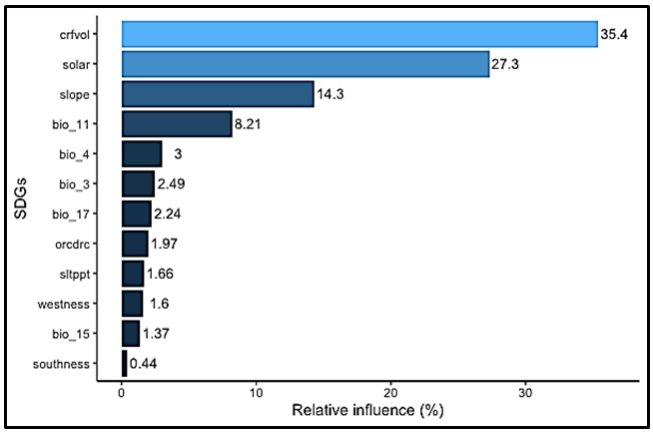
به طور کلی در شرایط کنونی اقلیمی محدوده عرض-های جغرافیایی ۳۴-۲۸ درجه عرض شمالی و ۶۲-۵۰ درجه طول شرقی بیشترین مطلوبیت را در افزایش دامنه پراکنش گونه بادام خاکستری دارند. منحنی‌های پاسخ گونه‌ای برای متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل-سازی بررسی شد (شکل ۳).

این منحنی‌ها پاسخ حضور گونه را در مقابل شیب تغییرات یک عامل محیطی نشان می‌دهند. در واقع این منحنی‌ها نشان می‌دهند حضور گونه در چه محدوده‌ای از تغییرات در یک عامل محیطی هنگامی که سایر عوامل در حد متوسط خود ثابت فرض شوند می‌باشد.



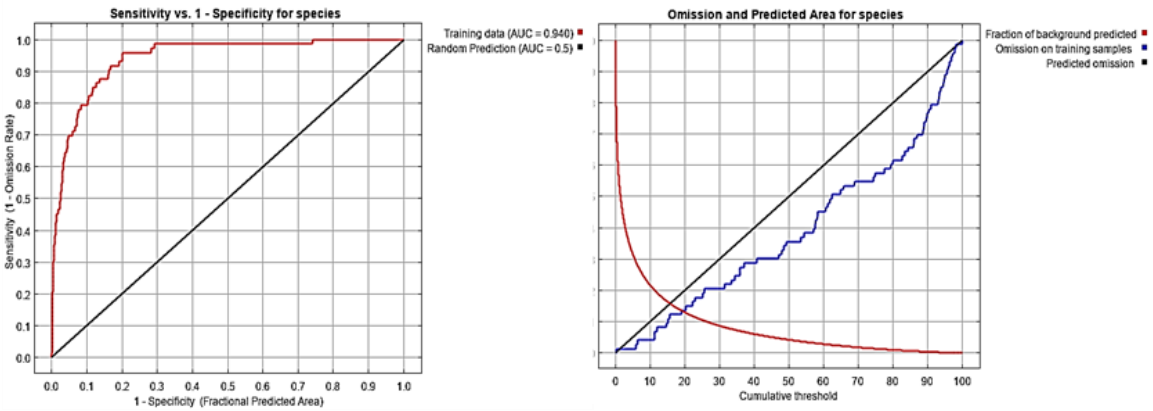
شکل ۳- منحنی پاسخ حضور گونه بادام خاکستری در مقابل متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی

میزان مشارکت هر کدام از لایه‌های محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که به ترتیب لایه‌های عمق خاک (crfvol) و میزان تابش نورخورشید (solar) با میزان مشارکت ۳۵/۴٪ و ۲۷/۳٪ بیشترین مشارکت را در مدل-سازی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری داشته‌اند (شکل ۴).



شکل ۴- درصد مشارکت لایه‌های اطلاعاتی محیطی در مدل سازی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری

مقدار شاخص سطح زیر منحنی برای مدل مکسنت برابر با ۰/۹۴ می‌باشد. ارزیابی صحت مدل مکسنت با استفاده از نمودار میانگین تخصص‌گرایی و حاشیه‌گرایی گونه بیانگر عملکرد عالی این مدل می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵- نمودار میانگین تخصص‌گرایی و حاشیه‌گرایی در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی با استفاده از مدل مکسنت برای گونه بادام خاکستری

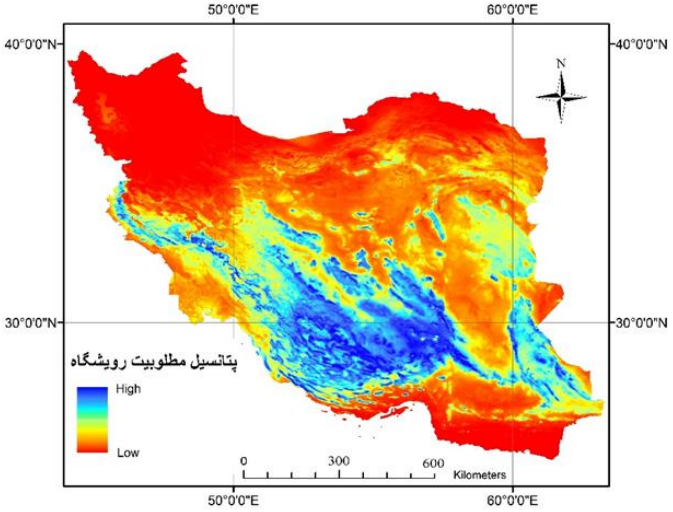
بر اساس مدل مکسنت، وسعت مناطق مطلوب رویشگاهی این گونه در شرایط اقلیمی کنونی ۸۶۲۱۱۳ کیلومتر مربع است. براساس سناریوی بدبینانه تغییر اقلیم (RCP 8.5) در سال ۲۰۸۰، پیش بینی می‌گردد مناطق مطلوبی که این گونه از دست خواهد داد ۳۶/۱۴ درصد و مناطق مطلوب جدیدی که این گونه بدست خواهد آورد ۸/۹ درصد خواهد بود.

بر این اساس دامنه تغییرات مطلوبیت رویشگاهی این گونه ۲۷/۲۴ درصد خواهد بود. پیش‌بینی می‌گردد وسعت مناطق مطلوب رویشگاهی این گونه در آینده به ۶۲۷۲۷۳ کیلومتر مربع کاهش یابد.

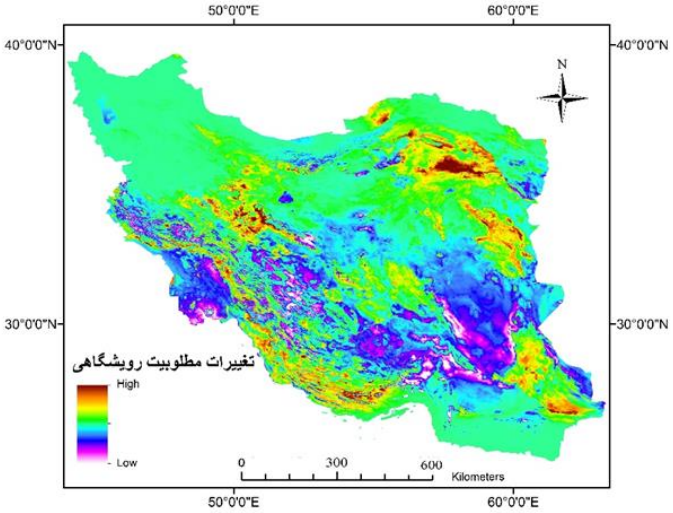
پیش‌بینی تغییرات مکانی مطلوبیت رویشگاهی این گونه از وضعیت کنونی شرایط اقلیمی با شرایط پیش‌بینی شده براساس سناریوی بدبینانه تغییر اقلیم (RCP 8.5) در سال ۲۰۸۰ با استفاده از مدل مکسنت نشان می‌دهد (شکل ۷) که این گونه مطلوبیت رویشگاهی خود را در برخی مناطق از دست خواهد داد که اغلب این کاهش در حاشیه و مرزهای دامنه پراکنش این گونه در استان‌های سیستان و بلوچستان، بوشهر، کرمان، اصفهان و یزد خواهد بود.

پیش‌بینی می‌گردد، مناطق مطلوب رویشگاهی که این گونه از دست خواهد داد بیشتر از مناطق مطلوب جدیدی می‌باشد که این گونه بدست خواهد آورد. با مقایسه دو

نقشه مطلوبیت رویشگاهی کنونی و مطلوبیت رویشگاهی تحت تأثیر تغییر اقلیم (شکل ۷) پیش‌بینی می‌شود که بیشترین تغییر در مطلوبیت رویشگاهی در بخش‌های شرقی (شمال‌شرق، شرق و جنوب‌شرق) کشور در استان-های خراسان رضوی و خراسان جنوبی و همچنین در بخش‌های جنوبی در استان‌های بوشهر و بخش‌های مرکزی در استان اصفهان رخ خواهد داد.



شکل ۶- پیش بینی مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری تحت سناریوی تغییر اقلیم RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰



شکل ۷- پیش‌بینی تغییرات مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری در شرایط اقلیمی کنونی با شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰ (میزان تغییرات مطلوبیت رویشگاهی به تدریج از رنگ قهوه‌ای بیشترین تغییرات مطلوبیت رویشگاهی تا رنگ صورتی کمترین تغییرات مطلوبیت رویشگاهی نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های توزیع گونه‌ای به عنوان یک ابزار اساسی برای درک تعاملات محیطی و گونه‌ها و تصویرسازی تغییرات پراکنش گونه در بررسی تغییرات مطلوبیت رویشگاهی گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم و تهاجم گونه‌ای تبدیل شده‌اند [۱۲، ۱۰، ۸ و ۶]. نتایج این پژوهش نشان داد که عمق خاک که بیشتر متأثر از توپوگرافی می‌باشد و تابش خورشید که متأثر از عرض جغرافیایی است از عوامل مهمّ تأثیرگذار بر پراکنش این گونه و از مؤلفه‌های مؤثر در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی آن هستند.

عوامل پستی و بلندی با تغییردادن شرایط آب و هوایی و با به وجود آوردن اقلیم‌های محلی در انتشار گیاهان دخالت دارند. این عوامل بویژه بر دما تأثیر می‌گذارند.

جهت و درصد شیب به ویژه در ارتفاعات نقش عمده‌ای در استقرار جوامع گیاهی دارد. شیب از طریق تأثیر معنی‌دار بر روی میزان انرژی دریافتی از نور خورشید، نفوذ آب و رواناب، شکل زمین و کاربری زمین تأثیر زیادی بر روی میزان رطوبت در دسترس گیاهان دارد [۳۷] که عامل مهمی در استقرار گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. بخش محدودی از دامنه تغییرات کربن آلی خاک بر پراکنش گونه بادام خاکستری تاثیر داشته است، در حالی که کل دامنه عمق خاک نقش تعیین کننده‌ای بر پیش‌بینی مطلوبیت رویشگاهی این گونه داشته است.

با توجه به اینکه از مدل‌های مطلوبیت رویشگاهی به طور گسترده در مدیریت و احیاء رویشگاه‌ها و اتخاذ تدابیر زیست محیطی به منظور حفاظت از گونه‌های در معرض خطر و اندمیک استفاده می‌گردد، بررسی صحّت مدل‌های مطلوبیت رویشگاهی گونه و تعیین بهترین الگوریتم از اهمیت بسیاری برخوردار است. نتایج بررسی صحّت مدل مکسنت به منظور مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی بادام خاکستری، نشان از کارآیی مناسب مدل مکسنت در مدل-سازی گونه مورد مطالعه داشت. کارآیی بالای مدل مکسنت در سایر تحقیقات نیز به اثبات رسیده است [۲۳، ۲۰، ۹و ۱]. به طور کلی مدل آنتروپی حداکثر، پتانسیل بالایی در تشخیص توزیع جغرافیایی و همچنین انتخاب رویشگاه مناسب با تکیه بر داده‌های حضور دارد [۲۳].

بررسی اثر تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌ها بسیار پیچیده است، چون فقط عامل اقلیم تغییر نمی‌کند و بسیاری از عوامل دیگر نیز مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر تغییر اقلیم و تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای تغییر می‌نمایند. تغییرات آب و هوایی می‌تواند توزیع گونه‌های گیاهی را تغییر دهد، بنابراین، ممکن است ظرفیت ذخایر طبیعت را برای حفاظت از گونه‌های گیاهی در معرض تهدید کاهش دهد. از آنجا که زیستگاه‌های مختلف دچار کاهش وسعت و افزایش تنش‌های محیطی در حاشیه‌ها و مرزهای خود می‌گردند، شکاف و فاصله بین آشیانه‌ها و زیستگاه‌ها ممکن است در آینده افزایش یابد [۴۴].

پیش‌بینی می‌شود که مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری تحت سناریوی تغیر اقلیم RCP 8.5 در سال ۲۰۸۰ کاهش چشمگیری داشته باشد. بر اساس مدل مکسنت، وسعت مناطق مطلوب رویشگاهی این گونه در شرایط اقلیمی کنونی ۸۶۲۱۱۳ کیلومتر مربع است. بر اساس سناریوی بدبینانه تغیر اقلیم (RCP 8.5) در سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی می‌گردد مناطق مطلوبی که این گونه از دست خواهد داد، ۳۶/۱۴ درصد می‌رسد و مناطق مطلوب جدیدی که این گونه بدست خواهد آورد، ۸/۹ درصد خواهد بود.

بر این اساس، دامنه تغیرات مطلوبیت رویشگاهی این گونه ۲۷/۲۴ درصد خواهد بود. پیش‌بینی می‌گردد وسعت مناطق مطلوب رویشگاهی این گونه در آینده به ۶۲۷۲۷۳ کیلومتر مربع کاهش یابد. این کاهش در مناطق رویشگاهی جنوب‌شرقی، شرقی و جنوب‌غربی بیشتر از سایر مناطق رویشگاهی پیش بینی می‌شود. این مناطق در محدوده عرض‌های جغرافیایی پایین کشور قرار گرفته‌اند.

سؤالی که در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه تحت تأثیر تغیر اقلیم مطرح می‌شود این است که آیا این تغییرات پیش‌بینی شده در مطلوبیت رویشگاهی و پراکنش گونه بادام خاکستری رخ می‌دهد یا خیر؟ این حقیقت که گونه-های امروزی در نتیجهٔ تغیرات شدید و ناگهانی اقلیمی در آخرین دوره یخبندان منقرض نشده‌اند، نشان می‌دهد که گونه‌ها ممکن است استراتژی‌های دیگری غیر از تغییر زیستگاه و جابه‌جایی جغرافیایی یا تغییر در وضعیت ژنتیکی خود داشته باشند. اگر تغییرات اقلیمی به طور ناگهانی و به طور گسترده در یک مقیاس وسیع قاره‌ای رخ داده باشد، یک احتمال این است که سازگاری ممکن است در نتیجه تغییرپذیری فنوتیپی در جمعیّت باشد. به عبارت دیگر، تنوّع درون‌گونه‌ای در فیزیولوژی، فنولوژی، رفتار و ویژگی‌های مورفولوژیک ممکن است به گونه اجازه بدهد که بدون تغییر محدوده زیستگاه بتواند با شرایط جدید اقلیمی کنار بیاید [۴۰، ۳۱و ۷].

برای پیش‌بینی آینده پراکنش یک گونه نه تنها توانایی یک گونه برای اشغال و استقرار در زیستگاه‌های جدید در نظر گرفته می‌شود، بلکه توانایی بقاء آن گونه در زیستگاه-های کنونی و عدم مواجه‌شدن با خطر انقراض هم سنجیده می‌شود [۳۴]. اثر انقراض‌های محلی باید در کل محدوده پراکنش گونه سنجیده شود.

انقراض‌ها بیشتر در جمعیّت‌های کوچک و جدا افتاده‌ای که نرخ تبادل ژن بین آنها کم و در نتیجه تنوّع ژنتیکی آنها پایین می‌باشد، رخ می‌دهد. بنابراین، قدرت سازگاری آنها با تنش‌ها و تغییرات ناگهانی محیطی کم می‌شود و این پدیده با درون زادآوری نیز تشدید می‌گردد [۴۶]. مطالعات مختلف نشان داده است که تاکسون‌های با محدوده‌های پراکنش بزرگ‌تر، تمایل به انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به تغییرات در شرایط محیطی، نسبت به تاکسون‌های با پراکنش کمتر دارند [۳۹ و ۳۸ و۲۵].

همان طور که به سمت گوشه‌ها و لبه‌های محدوده پراکنش طبیعی گونه‌های گیاهی نزدیک می‌شویم، توانایی رشد و استقرار گونه‌ها کاهش پیدا می‌کند و این درحالی است که بهره‌وری رشد در مراکز پراکنش گونه افزایش می‌یابد. پراکنش گونه‌های گیاهی نه تنها توسط موانع مطلق پراکنش محدود می‌شود، بلکه توسط عوامل دیگری از جمله رقابت بین گونه‌ای که ممکن است در آن شرایط بهتر رشد نمایند نیز محدود می‌شوند. مدل‌های الگوی پراکنش با پراکنش کنونی گونه سازگار هستند و این مدل‌ها بدون در نظر گرفتن قدرت سازگاری گیاه پیش بینی می‌نمایند، بنابراین، مدل‌ها پراکنش گونه را کمتر از مقدار واقعی آن در حال و آینده تخمین می‌زنند [۳۴]. در نتیجه مدل‌سازی براساس داده‌های پیش‌بینی شده بیوکلیماتیکی آینده بویژه برای گونه‌هایی که قابلیت مهاجرت زیادی دارند، نتایج دور از واقعیت ارائه می‌دهد و پراکنش این گونه‌ها را کمتر از مقدار واقعی آن و در پی آن خطر انقراض را بیشتر از مقدار واقعی آن تخمین می‌زنند [۵].

آنچه که در پیش‌بینی محدوده پراکنش یک گونه در آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیم باید مدنظر قرار گیرد، توانایی سازش و بروز فنوتیپ‌های جدید می‌باشد. سازگاری به شرایط محلی ممکن است باعث ایجاد جمعیّت‌هایی با ساختار ژنتیکی و فنوتیپی متفاوت شود که پاسخ‌های متفاوتی به تغییر اقلیم می‌دهند [۲۸].

نتایج بررسی حاضر نشان می‌دهد که تغییرات مطلوبیت رویشگاهی گونه بادام خاکستری به تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف دامنه پراکنش آن می‌تواند متفاوت باشد. با تغییر اقلیم شاهد کاهش وسعت رویشگاه‌های مطلوب در بخش‌های مرکزی و شرقی کشور و افزایش وسعت رویشگاه‌های مطلوب در بخش‌های جنوبی کشور خواهیم بود (شکل ۶ و ۷).

بررسی‌های بیشتر بر روی اثر تغییر اقلیم بر روی گونه‌هایی که پراکنش وسیعی دارند نیازمند این است که مشخص شود آیا این گونه‌ها پتانسیل لازم را برای سازگاری با فرآیندهایی از قبیل تغییر اقلیم که منجر به فشارهای شدید تکاملی می‌شود را دارد [۳۲] یا اینکه در رقابت با دیگر گونه‌ها مجبور به کاهش دامنه پراکنش خود می‌شود.

برخی از پژوهشگران بر این عقیده‌اند که گیاهان چندساله قادر به سازگاری با تغییرات شدید اقلیمی نیستند، زیرا سرعت تغییرات اقلیمی سریع‌تر از طول عمر درخت می‌باشد [۷]. از طرفی درختان ممکن است تنوّع ژنتیکی لازم را برای سازگاری با شرایط محیطی در حال تغییر نداشته باشند. همچنین درختان ممکن است در همان حال که زیستگاه‌شان در حال تکه‌تکه‌شدن است سرعت کافی برای پراکنش به زیستگاه‌های جدید مناسب را نداشته باشند [۲۴].

برخی از ویژگی‌های درختان، به آنها اجازه تحمّل و مقاومت در مقابل تغییرات محیطی را می‌دهد. از جمله اینکه درختان انعطاف‌پذیری فنوتیپی بالایی دارند که به آنها اجازه تحمّل شرایط متفاوت محیطی را به آنها می‌دهد. از طرفی سطوح بالایی از تنوّع ژنتیکی در آلوزیم‌ها و مارکرهای هسته‌ای درون (نه بین) جمعیّت‌های گونه‌های درختی دیده می‌شود و جریان ژنی از طریق گرده بخصوص در فاصله‌های زمانی طولانی می‌تواند جریان ژنی مطلوبی را به ویژه برای پایه‌های جدا و دور افتاده ایجاد نماید [۳۶].

با توجه به اینکه بادام خاکستری گونه‌ای اندمیک می‌باشد و از آنجا که میزان جابجایی و تغییرات محدوده پراکنش گونه‌های بومی هم به تغییرات اقلیمی و هم به میزان پیشروی گونه‌های مهاجم بستگی دارد. بنابراین، پیش‌بینی دقیق تغییرات امری امکانپذیر نیست. تغییرات اقلیمی ممکن است شرایط را برای برخی از گیاهان با تغییر و تقویّت برخی صفات و ویژگی‌های تاثیرگذار بر روی توانایی پراکنش و قابلیت مقاومت و تحمّل آشفتگی، بهبود

ببخشد. برخی گونه‌ها ممکن است سازگارتر یا تحمّل بیشتری نسبت به شرایط گرم‌تر و خشک‌تر و افزایش سطح CO_2 هوا داشته باشند.

تأثیرپذیری شرایط آب و هوایی ایران از تغییر اقلیم جهانی به دلیل موقعیّت جغرافیایی نسبت به دوره‌های گذشته با شدّت بالاتری صورت می‌گیرد.

با توجه به نتایج بدست آمده، اصول مدیریت اکوسیستمی ایجاب می‌کند که در بخش حفاظت و بهره-برداری از توان رویشگاهی بادام خاکستری تعادل مناسب برقرار گردد و اقدامات لازم مانند کاهش چرای دام، مصرف چوب (سوختی یا ساختن کپر و حصار) و نیز پایش بیشتر و مستمرتر و افزایش دانش همگانی برای کاهش فشار بر این اکوسیستم‌های شکننده و حساس انجام گیرد.

References

[1]. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J Hijmans, R., Huettmann, F., R Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J. and G Lohmann, L. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29(2), 129-151.

[2] Assadi, M. (ed.), 1989-2016: Flora of Iran 1-85. – RIFR, Tehran. (In Farsi).

[3]. Azevedo, M. C. C., Arau´jo, F. G., Cruz-Filho, A. G., Pessanha, A. L. M., Arau´jo Silva M., and Guedes, A. P. P. (2007). Demersal fishes in a tropical bay in southeastern Brazil: Partitioning the spatial, temporal and environmental components of ecological variation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 75, 468–480.

[4]. Buehler, E. C. and Ungar, L. H. (2001). Maximum entropy methods for biological sequence modeling. Workshop on Data Mining in Bioinformatics (BIOKDD). *University of Pennsylvania*. Philadelphia, 345 p.

[5]. Bugmann, H. K. M. and Solomon, A. M. (2000). Explaining forest composition and biomass across multiple biogeographical regions. *Ecological Applications*. 10, 95–114.

[6]. Chapman, D. S., and Purse, B. V. (2011). Community versus single-species distribution models for British plants. *Journal of Biogeography*. 38, 1524–1535.

[7]. Davis, M. B. and Shaw, R. G. (2001). Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science*. 292, 673–679.

[8]. Dormann, C.F., Schymanski, S.J., Cabral, J., Chuine, I., Graham, C., Hartig, F., Kearney, M., Morin, X., Römermann, C., Schröder, B. and Singer, A. (2012). Correlation and process in species distribution models: bridging a dichotomy. *Journal of Biogeography*, 39, 2119-2131.

[9]. Elith, J., Graham, H. C., Anderson, P. R., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, J. R., Huettmann, F., Leathwick, R. and Lehmann, A. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151.

[10]. Elith, J., Kearney, M., and Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 330–342.

[11]. ESRI. 2011. ArcGIS desktop: release 10. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.

[12]. Evans, M., Merow, C., Record, S., McMahon, S. M. and Enquist. B. J. (2016). Towards process-based range modeling of many species. *Trends in Ecology and Evolution*, 31, 860–871.

[13]. Fick, S. E, and Hijmans, R. J. (2017) Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.

[14]. Flory, A. R., Kumar, S., Stohlgren, T. J. and Cryan, P. M. (2012). Environmental conditions associated with bat white-nose syndrome mortality in the north-eastern United States. *Journal of Applied Ecology*. 49(3), 680-689.

[15]. Ghahreman, N., Tabatabaei, M., and Babaeian, I. (2015). Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. Un climate change conference. Paris.

[16]. Glenn, M., Robert, E., Brian, H., David, R. F., Jonathan, H., and Dana, M. (2002). Vegetation variation across Cape Cod, Massachusetts: environmental and historical determinants. *Journal of Biogeography*, 29, 1439–1454.

[17]. Gogtay, N. J., and Thatte, U. M. (2017). Principles of correlation Analysis. *Journal of the Association of Physicians of India*. 65, 78-81.

[18]. Gomes, V., IJff, S., Raes, N., Amaral, I. (2017). Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. SCIENtIfIC Reports. 8, 1003.

[19]. Hengl, T., De Jesus, J. M., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., and Heuvelink, G. B. M. (2014). SoilGrids1km — Global Soil Information Based on Automated Mapping. PLoS ONE. 9(8), e105992.

[20]. Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L. and Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species .Ecography. 29: 773-785.

[21]. Hijmans, R. J. (2017). Raster. Introduction to the 'raster' package. Version 2.6-7 R package. Available: http://CRAN.R-project.org/package = Raster.

[22]. 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.

[23]. Hirzel, A. H., J. Hausser, D., Chessel, P. and Perrin, N. (2002). Ecological niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data. *Ecology*, 73(22): 2027-2036.

[24]. Jump, A. and Penuelas, J. (2005). Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters*, 8, 1010-1020.

[25]. Kantar, M. B., Sosa, C. C., Khoury, C. K., Castañeda-Álvarez, N. P., Achicanoy, H. A., Bernau, V., Kane, N. C., Marek, L., Seiler, G and Rieseberg, L. H. (2015). Ecogeography and utility to plant breeding of the crop wild relatives of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Frontal Plant Science*. 6, 841.

[26]. Khalasi Ahwazi, L., Zare Chahouki, M. A. and Hosseini, S. Z. (2015). Modeling geographic distribution of *Artemisia sieberi* and *Artemisia aucheri* using presence-only modelling methods (MAXENT and ENFA). *Journal of Renewable Natural Resources Research*. 6(1), 57-73. (In Farsi)

[27]. Khatamsaz, M. 1993. Flora of Iran (Family Rosaceae). Vol. 6. *Research Institute of Forest and Rangelands press*, Tehran, 274315. (In Farsi).

[28]. Kramer, K., Degen, B., Buschbom, J., Hickler, T., Thuiller, W., Sykes, M. T. and Winter, W. (2010). Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change—Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*. 259, 2213–2222.

[29]. Liu, C., White, M. and Newell, G. (2011). Measuring and comparing the accuracy of species distribution models with presence–absence data. *Ecography*, 34, 232–243.

[30]. Mazangi, A., Ejtehadi, H., Mirshamsi, O., Ghasemzade, F. and Hosseiynian, S.S. (2016). Effects of climate change on the distribution of endemic *Ferula xylorhachis* Rech.f. (Apiaceae: Scandiceae) in Iran: Predictions from ecological niche models. *Russian Journal of Ecology*. 47, 349–354.

[31]. Nussey, D. H., Postma, E., Gienapp, P. and Visser, M.E. (2005). Selection on heritable phenotypic plasticity in a wild bird population. *Science*. 310, 304–306.

[32]. Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionairy responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 37, 912–929.

[33]. Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapired, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.

[34]. Rahmani, R., Neji, M., Belgacem, M., and Debuba, M. (2020). Potential distribution and the habitat suitability of the African mustard (*Brassica tournefortii*) in Tunisia in the context of climate change. Arabian journal of geoscience. https://dx.doi.org/10.1007/s12517-020-05467-8

[35]. Rechinger, K. H. (1963-1992). Flora Iranica Graz. pp: 1-171.

[36]. Rehfeldt, G. E., Tchebakova, N. M., Parfenova, Y. I., Wykoff, W. R., Kuzmina, N. A. and Milyutin, L. I. (2002). Intraspecific responses to climate in Pinus sylvestris. *Global Change Biology*. 8, 912–929.

[37]. Rezaei, S. A., and Arzani, H. (2007). The use of soil surface attributes in rangelands capability assessment. *Iranian journal of Range and Desert Research*. 14(2), 232-248.

[38]. Sexton, J. P., Hangartner, S. B. and Hoffmann, A. A. (2014). Genetic isolation by environment or distance: which pattern of gene flow is most common? *Evolution*. 68, 1–15.

[39]. Sheth, S. N. and Angert, A. L. (2014). The evolution of environmental tolerance and range size: a comparison of geographically restricted and widespread Mimulus. *Evolution*, 68, 2917–2931.

[40]. Skelly, D. K., Joseph, L. N., Possingham, H. P., Freidenburg, L. K., Farrugia, T. J., Kinnison, M. T. and Hendry, A. P. (2007). Evolutionary responses to climate change. *Conservation Biology*. 21, 1353–1355.

[41]. Stuart, N. (2015). ArcGeomorphometry: A toolbox for geomorphometric characterization of DEMs in the ArcGIS environment. *Computers and Geosciences*. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.09.020.

[42]. Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.

[43]. Titeux, N., Henle, K., Mihoub, J. B., Regos, A., Geijzendorffer, I. R., Cramer, W., Verburg, P.H. and Brotons, L. (2017). Global scenarios for biodiversity need to better integrate climate and land use change. *Diversity and distributions*, 23(11):1231–1234.

[44]. Wang, C., Liu, C., Wan, J. and Zhang, Z. (2016). Climate change may threaten habitat suitability of threatened plant species within Chinese nature reserves. PeerJ. 14;4:e2091. doi: 10.7717/peerj.2091. PMID: 27326373; PMCID: PMC4911960.

[45]. Wiens, J.A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C.A., and Howell, M.A. (2009). Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. *PNAS*. 106-suppl. 2-19729–19736.

[46]. Willi, Y., Van Busrirk, J. and Hoffmann, A. A. (2006). Limits to the adaptive potential of small populations. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 37, 433–458.

Impact of climate change on the distribution range of *Prunus eburnea* (Spach) Aitch. & Hemsl. using Maxcent

1- Somayeh Zangiabadi, Department of Plant Biology, Faculty of Biological Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2- Hassan Zare-maivan*, Department of Plant Biology, Faculty of Biological Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
zaremaih@modares.ac.ir
3- Hossein Mostafavi, Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University,Tehran, Iran.
4- Hojjatollah Ranjbar, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Received: 08 Jun 2021
Accepted: 02 Oct 2021

Abstract

Climate change affects plant distribution in vulnerable ecosystems, such as gray almond (*Prunus eburnea* (Spach) Aitch. & Hemsl.). Gray almond is a member of the Rosaceae family and it has conservational, nutritional and endemic importance and widely distributed in arid and semi-arid regions of Iran. The main objectives of this study are modeling the habitat suitability of the gray almond species using the Maxent model and predicting the effects of climate change on its distribution as well as determining the contribution of environmental variables in modeling the habitat suitability. Evaluating the accuracy of Maxent model using the mean area under the curve index (0.94) indicates the excellent performance of this model. Results showed that the soil depth and the solar radiation layers with 35.4% and 27.3%, respectively, had the highest share of participation in modeling of the habitat suitability of gray almond species. Based on the map of habitat suitability in the current climatic conditions, it is predicted that the southern regions (Hormozgan, Bushehr and Fars provinces), south-west (Kohgiluyeh, Boyer-Ahmad and Chaharmahal Bakhtiari provinces) and southeast (provinces) Sistan and Baluchestan, Kerman and South Khorasan) have the potential of suitable environmental conditions to expand the habitats of this species. In order to evaluate the effects of climate change on the habitat suitability of this species, the Representative Concentration Pathway 8.5 (greenhouse gas emission scenario) related to greenhouse gas emission model CCSM4 in the 2080 was used. According to Maxent model, the area of suitable habitat of this species in the current climatic conditions is 862113 Km^2. Predicted based on RCP 8.5 in 2080, suitable areas that this species will lose 36.14% and gain new suitable habitats as much as 8.9%. It is predicted that the area of suitable habitat areas of this species will decrease to 627273 km^2 in the future. According to the results, it is necessary to have better ecosystem management of conservation and exploitation of gray almond habitats in future.

Keywords: Arid and semi-arid ecosystems, Gray almond, Habitat suitability, Environmental predictors.