



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"

دوره نهم، شماره نوزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

علمی-پژوهشی

پیش‌بینی تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه مرتعی *Alopecurus textile* Boiss بر پایه

رویکرد اجماعی تغییر اقلیم در استان مازندران

سمانه نظری^۱، زینب جعفریان^{۲*}، سید جلیل علوی^۳، علی اصغر نقی‌پور^۴

^۱ دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۲ استاد گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۳ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

^۴ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۶

چکیده

تغییر اقلیم نقش مهمی در پراکنش گونه‌های گیاهی دارد. مدل‌های آماری پراکنش گونه‌ای (SDMs)، به طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی تغییرات توزیع گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم استفاده می‌شوند. در مطالعه حاضر پراکنش گونه *Alopecurus textile* در شرایط حال حاضر و آینده (۲۰۵۰) تحت اثر اقلیم و دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 با سری داده مدل‌های گردش عمومی BCC-CSM1-1، CCSM4 و MRI-CGCM3 و با استفاده از پنج مدل پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته، مدل جمعی تعمیم‌یافته، تحلیل طبقه‌بندی درختی، مدل رگرسیون تقویت‌شده و روش جنگل تصادفی در استان مازندران بررسی شد. به این منظور، تعداد ۹۲ داده حضور گونه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد و همراه با لایه‌های عوامل محیطی شامل شش متغیر زیست‌اقلیمی و دو متغیر فیزیوگرافی در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. از بین متغیرهای محیطی به ترتیب میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال و مجموع بارندگی سردترین فصل سال بیشترین تأثیر را در مطلوبیت رویشگاه این گونه داشتند. ارزیابی مدل‌سازی نشان داد که مدل جنگل تصادفی و رگرسیون تقویت‌شده نسبت به سایر مدل‌ها پیش‌بینی قابل اعتمادتری برای تعیین رویشگاه اقلیمی داشتند. تغییر مقدار رویشگاه‌های مناسب برای این گونه، بر مبنای شرایط حال حاضر نشان داد که تحت سناریوهای انتشار RCP 4.5 و RCP

*نویسنده مسئول: z.jafarian@sanru.ac.ir

8.5 به ترتیب حدود ۲۲/۲۵ و ۳۶/۲۲ درصد، از مساحت اراضی دارای تناسب اقلیمی برای گونه، تا سال ۲۰۵۰ کاسته می‌شود. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند ابزاری کارآمد برای حفاظت از تنوع زیستی، مدیریت اکوسیستم و برنامه‌ریزی برای استقرار مجدد گونه تحت سناریوهای تغییر اقلیم آینده باشد.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای تغییر اقلیم، مطلوبیت رویشگاه، مدل‌های پراکنش گونه‌ای، ارزیابی مدل

مقدمه

تغییر اقلیم جهانی یکی از جدی‌ترین چالش‌های پیش‌روی بشر است (Seddon et al., 2016). میانگین درجه حرارت جهانی به واسطه تغییرات قابل توجهی در الگوهای بارش، به میزان ۰/۰۶۵ درجه سانتی‌گراد در هر دهه از سال ۱۸۸۰ افزایش یافته است (Ma et al., 2017). در گزارش‌های مختلف، تغییرات اقلیمی عامل دگرگونی در فیزیولوژی، فنولوژی، محدوده پراکنش گونه‌ها و پایداری اکولوژیکی در اکوسیستم‌های مختلف معرفی شده است (Gillison, 2019; Ferrarini et al., 2019; Sintayehu, 2018). تغییرات اقلیمی باعث انقراض برخی گونه‌های گیاهی یا گسترش و پراکنش گونه‌های دیگر می‌شود (IPCC, 2018). گونه‌های گیاهی با جابجایی به مناطقی با شرایط محیطی مناسب‌تر با تغییرات اقلیمی سازگار می‌شوند (Moritz and Agudo, 2013).

به منظور پیش‌بینی پراکنش گیاهان و جانوران، مدل‌های پراکنش گونه‌ای^۲ ابزارهای مناسبی محسوب می‌شوند که به عنوان مدل‌های آشیان اکولوژیک^۳ و مدل‌های مطلوبیت رویشگاه^۴ نیز شناخته می‌شوند (Miller, 2010; Guisan and Zimmermann, 2000). مدل‌های پراکنش گونه‌ای می‌توانند رویشگاه‌های گونه‌ای مناسب را بر اساس نقاط حضور گونه‌ها و ویژگی‌های محیطی شبیه‌سازی کنند (Yi et al., 2018) و به عنوان روشی مؤثر برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی در آینده و تأثیرات تغییر اقلیم بر اکوسیستم عمل کنند (Ghahramani and Moore, 2015).

مدل‌های اقلیمی تغییرات را بر اساس یک مجموعه از سناریوهای واداشت تابشی ناشی از فعالیت‌های انسانی شبیه‌سازی می‌کنند (IPCC., 2013). سناریوها با عنوان نماینده خطوط سیر غلظت^۵ برای شبیه‌سازی مدل اقلیمی استفاده می‌شوند (IPCC., 2013) و بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نامگذاری شده‌اند. در سناریو RCP 4.5 بازتابش ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، بدون عبور از خط سیر تا $4/5 \text{ W/M}^2$ تثبیت می‌شود و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند. در

^۲ Species distribution Models

^۳ Ecological Niche Modelling

^۴ Habitat suitability Modelling

^۵ Representative Concentration Pathway

سناریو RCP 8.5 واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای، تا میزان $8/5 \text{ W/M}^2$ تا سال ۲۱۰۰ میلادی افزایش می‌یابد (Van Vuuren et al., 2011).

با توجه به اینکه انتخاب روش مدل‌سازی، منبع اصلی تغییرپذیری در پیش‌بینی‌هاست و انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی ساده نیست (Elith and Graham, 2009)، بنابراین، استفاده از ترکیبی از این مدل‌ها به جای تکیه به خروجی‌های حاصل از یک مدل مجزا پیشنهاد می‌گردد. در مدل اجماعی یا مدل ترکیبی عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های انفرادی می‌تواند با بررسی همزمان نتایج چندین مدل کاهش یابد (Araujo and New, 2007). در سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری در رابطه با مدل‌سازی تغییرات پراکنش گونه‌ها نسبت به تغییر اقلیم انجام شده است. ایباجی و همکاران (Oyebanji et al., 2021) در بررسی زیستگاه ۲۳۷ گونه بومی لگوم تحت تأثیر تغییر اقلیم برای سال ۲۰۵۰ در منطقه جنگلی گینه کنگو آفریقا نشان دادند که زیستگاه‌های بالقوه مناسب این گونه‌ها کاهش می‌یابند. کورپیس و همکاران (Kurpis and et al., 2019) در مطالعه‌ای در مکزیک پراکنش گونه *Tagest lucida* از تیره کاسنی را تحت تأثیر اقلیم بررسی نمودند و گزارش کردند تا سال ۲۰۵۰ دامنه پراکنش گونه محدودتر خواهد شد. محمودی شمس‌آباد و همکاران (Mahmoudi Shamsabad et al., 2019) در مطالعه‌ای در جنوب آسیا به بررسی پیش‌بینی پراکنش گونه *Acanthophyllum squarrosum* پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زیستگاه گونه در مناطق جنوب و مرکزی ایران در معرض خطر انقراض قرار دارد و محدوده پراکنش گونه به سمت آذربایجان، ارمنستان و شمال افغانستان تغییر خواهد کرد. سنگونی و فرزاد مهر (۱۳۹۹) در تعیین رویشگاه بالقوه گونه گاوزبان وحشی در استان خراسان رضوی تا سال ۲۰۸۰ و تحت مدل اقلیمی HadGEM2 پرداختند و نشان دادند که با تغییر اقلیم حدود ۴۰ درصد از مساحت اراضی دارای تناسب اقلیمی برای این گونه کاسته می‌شود. طیموری اصل و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی پراکنش گونه *Stipa hohenackeriana* در زاگرس مرکزی نشان دادند که بخش وسیعی از رویشگاه‌های مطلوب این گونه به واسطه تغییر اقلیم نامطلوب خواهند شد. امیری و همکاران (۱۳۹۸) با پیش‌بینی پراکنش گونه *Artemisia sieberi* Besser در مراتع استپی و نیمه‌استپی ایران-تورانی به این نتیجه دست یافتند که رویشگاه گونه با تغییر اقلیم به مقدار زیادی کاهش خواهد یافت.

با وجود نگرانی‌های زیادی که در رابطه با اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گیاهان وجود دارد، اما آثار این موضوع بر گونه‌های گیاهی کشورمان چندان شناخته شده نیست. از آنجا که لازمه‌ی مدیریت پایدار مراتع شناخت رویشگاه گونه‌ها و عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش مکانی آن‌ها می‌باشد، لذا بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی گونه‌های گیاهی امری ضروری به نظر می‌رسد. گونه *Alopecurus textile* از تیره گندمیان (Poaceae) و چندساله می‌باشد که با توجه به سیستم ریشه‌ای مناسب ذرات ریز و درشت

خاک را در خود حفظ و با ریزوم فیبری و ضخیم خود نسبت به چرا، لگدکوب شدن و فشردگی خاک بسیار مقاوم می‌باشد (مقیمی، ۱۳۸۴). این گیاه با ساقه‌های گل‌دهنده فراوان، بذر زیادی تولید می‌کند و با استقرار در خاک‌های کم‌عمق مناطق مرتفع، نقش مهمی در حفاظت از خاک این مناطق ایفا می‌کند (مقیمی، ۱۳۸۴). همچنین با توجه به ارزش حفاظتی و علوفه‌ای، گونه مورد مطالعه برای برنامه‌های اصلاح و احیا مراتع مناسب می‌باشد (آذرینوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر عوامل اقلیمی و توپوگرافی بر پراکنش جغرافیایی گونه گندمی *A. textilis* در استان مازندران در شرایط اقلیمی فعلی و همچنین تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده (سال ۲۰۵۰) در چارچوب یک مدل ترکیبی انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت کمک به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، طرح‌های حفاظتی و احیا در استان مازندران استفاده شود. لذا شناسایی وضعیت موجود در اکوسیستم‌های مرتعی و پایش پراکنش پوشش گیاهی به منظور مدیریت بهینه و بهره‌برداری پایدار از آن‌ها، امری ضروری است.

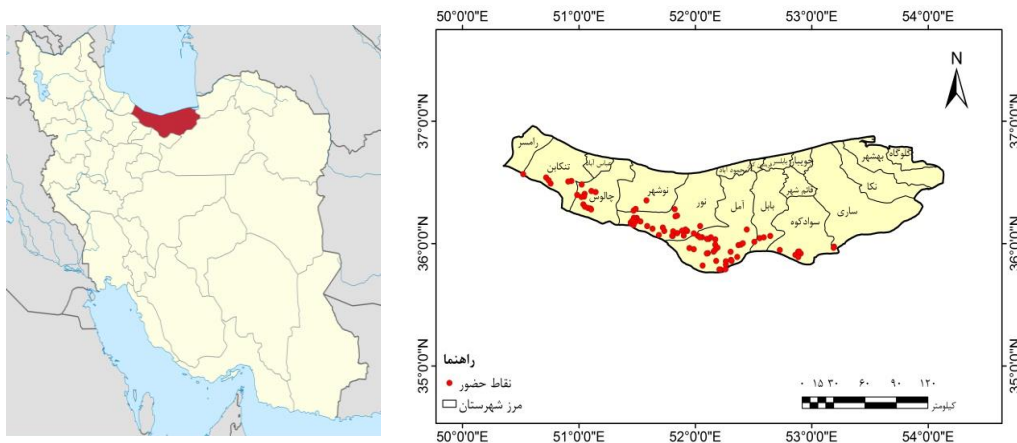
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

استان مازندران با مساحتی معادل ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی 34° تا 50° و 47° تا 35° شرقی و عرض جغرافیایی 35° تا 36° شمالی واقع شده است. بیشترین ارتفاع این محدوده ۵۶۷۰ متر و کمینه ارتفاع آن ۲۱- متر از سطح دریاهای آزاد است. میزان بارندگی و رطوبت هوا در قسمت غرب استان بیشتر از شرق آن است. در طول یک دوره آماری ۵۰ ساله ایستگاه سینوپتیک مازندران، میانگین بارش سالیانه ۷۹۶ میلی‌متر و میانگین دمای هوای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و با حرکت از مناطق غربی به سمت مناطق شرقی بر میزان دمای هوا افزوده می‌شود (جعفری، ۱۳۸۷). بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مرطوب، نواحی شرقی مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی نیمه مرطوب می‌باشد.

داده‌های حضور گونه *A. textilis*

نقاط حضور گونه بر اساس بازدید از مناطق حضور گونه در سطح استان با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت گردید. نمونه‌گیری نقاط با دو شرط وجود حداقل ۱ km فاصله بین نقاط حضور و پرهیز از برداشت تک‌پایه‌ها به عنوان حضور گونه انجام شد و در نهایت ۹۲ نقطه حضور برای گونه ثبت شد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت استان مازندران در ایران به همراه نقاط حضور گونه *A. textilis*

متغیرهای محیطی

نوزده متغیر زیست اقلیمی ریز مقیاس شده برای شرایط اقلیمی فعلی و آینده (۲۰۵۰ میلادی) با تفکیک فضایی ۳۰ ثانیه (۱ کیلومتر مربع) از پایگاه داده‌های WorldClim (www.worldclim.org) به دست آمد (جدول ۱). در این تحقیق، برای بررسی اثر تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ میلادی از سه مدل گردش عمومی جو، شامل BCC-CSM1-1، CCSM4 و MRI-CGCM3 تحت دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شد. متغیر ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع (DEM) به دست آمد و لایه‌های شیب و جهت جغرافیایی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و بسته Raster در محیط R تولید شدند (Hijmans et al., 2017). برای بررسی هم‌خطی میان متغیرهای محیطی از یک فرآیند گام به گام و تخمین عامل تورم واریانس^۶ (VIF) با استفاده از بسته usdm در محیط R استفاده شد و تنها متغیرهای با مقدار VIF کمتر از ۱۰ انتخاب شدند (Naimi et al., 2014; Graham, 2003). در نهایت ۸ متغیر محیطی شامل شاخص هم‌دمایی (BIO3)، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال (BIO8)، میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال (BIO9)، تغییرات فصلی بارندگی (BIO15)، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال (BIO18)، مجموع بارندگی سردترین فصل سال (BIO19)، شیب و جهت شیب وارد مدل شدند.

^۶Variance Inflation Factor

جدول ۱- متغیرهای زیست اقلیمی مورد استفاده در مدل سازی

نمایه متغیر	توصیف اقلیمی	نمایه متغیر	توصیف اقلیمی
BIO ₁	میانگین دمای سالانه	BIO ₁₁	میانگین دمای سردترین فصل سال
BIO ₂	میانگین دامنه دمای روزانه	BIO ₁₂	مجموع بارندگی سالانه
BIO ₃	شاخص هم‌دمایی (Bio7/Bio2) × ۱۰۰	BIO ₁₃	مجموع بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال
BIO ₄	تغییرات فصلی دما	BIO ₁₄	مجموع بارندگی خشک‌ترین ماه سال
BIO ₅	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال	BIO ₁₅	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)
BIO ₆	حداقل دمای سردترین ماه سال	BIO ₁₆	مجموع بارندگی مرطوب‌ترین فصل سال
BIO ₇	تغییرات دمای سالانه (BIO ₅ -BIO ₆)	BIO ₁₇	مجموع بارندگی خشک‌ترین فصل سال
BIO ₈	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال	BIO ₁₈	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال
BIO ₉	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	BIO ₁₉	مجموع بارندگی سردترین فصل سال
BIO ₁₀	میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال		

مدل‌های پراکنش گونه‌ای

در این پژوهش برای در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از روش‌های مختلف مدل‌سازی، از پنج روش مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای شامل مدل خطی تعمیم‌یافته^۷ (GLM)، مدل جمعی تعمیم‌یافته^۸ (GAM)، تحلیل طبقه‌بندی درختی^۹ (CTA)، رگرسیون تقویت‌شده^{۱۰} (GBM) و روش جنگل تصادفی^{۱۱} (RF) برای پیش‌بینی پراکنش فعلی گونه *A. textilis* و همچنین ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش آینده این گونه استفاده شد. مدل‌سازی‌ها با استفاده از بسته biomod 2 (Thuiller et al., 2009) در محیط نرم افزار R انجام گرفت.

⁷ Generalized Linear Model

⁸ Generalized Additive Model

⁹ Classification Tree Analyses

¹⁰ Generalized boosting Model

¹¹ Random Forest

ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی قابلیت پیش‌بینی مدل‌ها از ۱۰ تکرار دسته‌بندی تصادفی برای هر یک از پنج مدل پراکنش گونه‌ای استفاده شد. در هر تقسیم تصادفی از ۷۰ درصد داده‌های حضور برای تولید مدل و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی آن استفاده شد (Araujo et al., 2005). برای اندازه‌گیری صحت مدل‌های مختلف در پیش‌بینی پراکنش گونه از مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) در تحلیل ویژگی عملیاتی پذیرنده (ROC) و آماره TSS (True Skill Statistic) استفاده شد. AUC با مقدار ۰/۵ نشان می‌دهد که کارایی تمایز مدل به صورت تصادفی است. مدل با AUC بین ۰/۷ تا ۰/۵ دارای دقت کم، بین ۰/۷ تا ۰/۸ دارای دقت متوسط، ۰/۸ تا ۰/۹ دقت خوب و ۰/۹ تا ۱ دارای دقت کامل است. در مورد شاخص TSS، مقادیر کمتر از ۰/۴ نشان‌دهنده توانایی ضعیف مدل در پیش‌بینی، ۰/۴ تا ۰/۸ خوب و بالای ۰/۸ عالی می‌باشد (Allouche et al., 2006).

مدل ترکیبی پراکنش گونه *A. textilis* تحت شرایط مختلف اقلیمی

نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش گونه *A. textilis* با استفاده از پنج مدل پراکنش گونه‌ای در شرایط اقلیمی مختلف (فعلی، آینده: تحت سه مدل گردش عمومی جو و دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 برای سال ۲۰۵۰) تولید شد. مطالعات متعددی نشان دادند که میانگین چند مدل گردش عمومی جو بهتر از یک مدل واحد عمل می‌کنند (Venkataraman, 2016; Weiland et al., 2012). به منظور اجتناب از خطای ناشی از یک مدل گردش عمومی، از میانگین گروهی سه مدل مختلف (BCC-CSIRO-Mk3.6r, CCSM4, MRI-CGCM3) استفاده شد.

تحلیل تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه *A. textilis* تحت تأثیر اقلیم

برای تحلیل تغییرات اندازه محدوده پراکنش^{۱۲} گونه، نقشه‌های تغییرات اندازه محدوده پراکنش *A. textilis* در چهار گروه زیر به‌دست آمد: الف) رویشگاه‌های مناسب پایدار: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه *A. textilis* در آن‌ها حضور دارد و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز گونه در آن‌ها حضور داشته باشد؛ ب) گرایش به نامناسب: رویشگاه‌هایی که گونه *A. textilis* در حال حاضر در آن‌ها حضور دارد، ولی پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیم موجب نامطلوب شدن شرایط اقلیمی برای این گونه شود؛ ج) گرایش به مناسب: رویشگاه‌هایی که در حال حاضر گونه *A. textilis* در آن‌ها حضور ندارد، ولی پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیم سبب مناسب شدن شرایط اقلیمی برای حضور این گونه می‌شود؛ د) رویشگاه‌های نامناسب پایدار: رویشگاه‌هایی که پیش‌بینی می‌شود هم در شرایط اقلیمی فعلی و هم در شرایط اقلیمی آینده برای گونه *A. textilis* نامطلوب‌اند و این گونه در آن‌ها حضور نخواهد داشت.

¹² Range Size Analysis

نتایج

معیارهای AUC ($>0/91$) و TSS ($>0/82$) برای همه مدل‌ها عالی ارزیابی شدند (جدول ۲). بالاترین سطح معیار AUC ($0/98$) برای دو مدل جنگل تصادفی (RF) و رگرسیون تقویت شده (GBM) و بالاترین مقدار TSS ($0/88$) نیز برای مدل جنگل تصادفی (RF) برآورد شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر برآورد شده شاخص سطح زیر منحنی (AUC) و (TSS) در مدل‌های مختلف

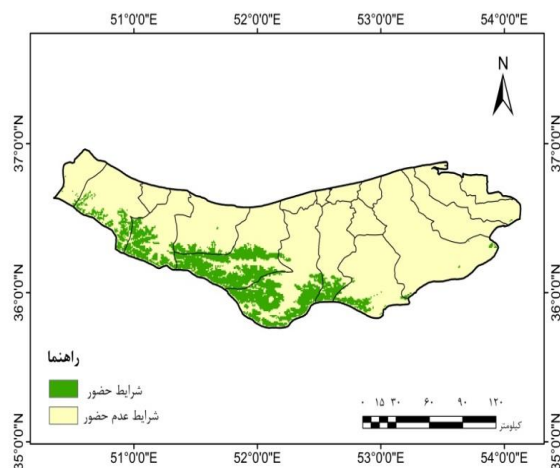
مدل	GLM	GAM	CTA	RF	GBM	میانگین
AUC	$0/97$	$0/96$	$0/91$	$0/98$	$0/98$	$0/96$
TSS	$0/87$	$0/86$	$0/82$	$0/88$	$0/87$	$0/86$

اهمیت یا سهم نسبی هر یک از متغیرهای محیطی مورد استفاده در فرآیند مدل‌سازی برای هر یک از مدل‌های برازش‌داده شده در جدول ۳ گزارش شد. بر اساس نتایج حاصل به ترتیب، متغیرهای میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال (BIO9)، تغییرات فصلی بارندگی (BIO15)، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال (BIO18) و مجموع بارندگی سردترین فصل سال (BIO19) بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه *A. textilis* داشتند.

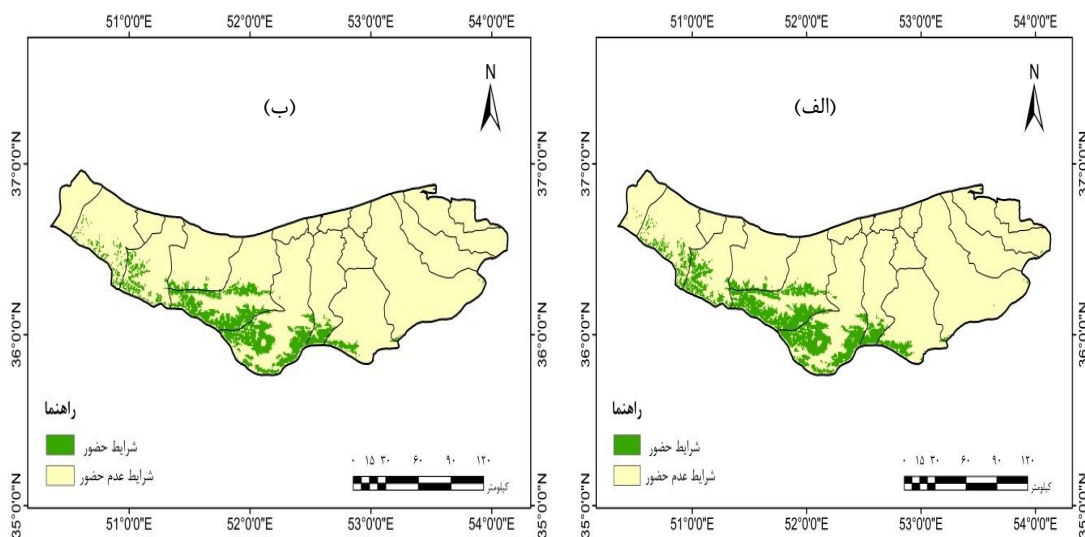
جدول ۳- اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل‌های پراکنش مکانی *A. textilis*

متغیر محیطی	GLM	GAM	CTA	RF	GBM	میانگین سهم نسبی
شاخص هم‌دمایی	$0/21$	$0/20$	0	$0/01$	0	$0/08$
میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال	$0/04$	$0/19$	0	$0/02$	$0/01$	$0/05$
میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	$0/56$	$0/64$	$0/47$	$0/21$	$0/32$	$0/44$
تغییرات فصلی بارندگی	$0/32$	$0/26$	$0/50$	$0/09$	$0/17$	$0/27$
مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال	$0/18$	$0/38$	0	$0/03$	$0/02$	$0/12$
مجموع بارندگی سردترین فصل سال	$0/17$	$0/23$	$0/09$	$0/04$	$0/09$	$0/12$
جهت شیب	$0/01$	$0/02$	0	$0/02$	$0/04$	$0/02$
شیب	$0/13$	$0/13$	0	$0/09$	$0/14$	$0/10$

نقشه‌های حاصل از مدل‌های مختلف متفاوت بودند ولی همپوشانی زیادی با هم داشتند. با استفاده از روش اجماع و جمع‌بندی نتایج حاصل از تمامی مدل‌ها، نقشه پراکنش گونه در حال حاضر تهیه شد (شکل ۲).



شکل ۲- مطلوبیت رویشگاه گونه *A. textilis* بر اساس رویکرد اجماعی حاصل از پنج مدل پراکنش گونه‌ای همچنین نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه *A. textilis* تحت سناریوهای اقلیمی RCP 4.5 و RCP 8.5 و مدل‌های گردش عمومی BCC-CSM1-1، CCSM4 و MRI-CGCM3 برای سال ۲۰۵۰ تولید شد (شکل ۳).



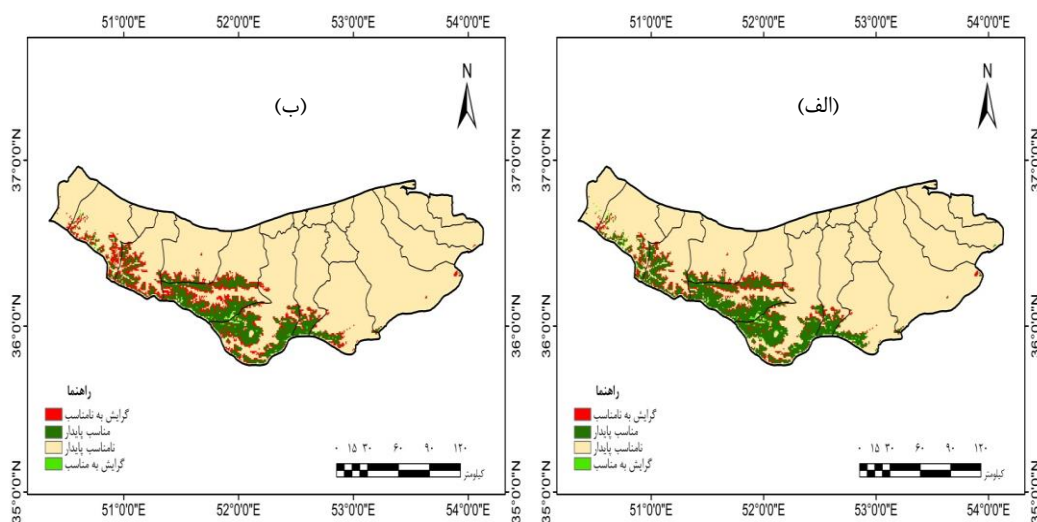
شکل ۳- پراکنش گونه *A. textilis* تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ در استان مازندران. (الف): پراکنش گونه تحت تأثیر سناریوی RCP 4.5. (ب): پراکنش گونه تحت تأثیر سناریوی RCP 8.5

تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه *A. textilis*

نتایج تحلیل تغییرات اندازه دامنه گونه *A. textilis* (جدول ۴ و شکل ۴) نشان می‌دهد که در شرایط تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ میلادی تحت سناریو RCP 4.5 معادل ۲۲/۲۵ درصد از رویشگاه‌های مطلوب فعلی گونه *A. textilis* مطلوبیت رویشگاهی خود را از دست خواهند داد، در صورتی که در بدبینانه‌ترین حالت (RCP 8.5) این میزان با کاهش شدیدتر به ۳۶/۲۲ درصد خواهد رسید. رویشگاه‌های مطلوب به دست آمده در اثر تغییر اقلیم تحت RCP 4.5 معادل ۲/۶۶ درصد و تحت سناریو RCP 8.5 معادل ۱/۴۴ درصد خواهد بود.

جدول ۴- نتایج تحلیل اندازه دامنه گونه *A. textilis* تحت تأثیر تغییر اقلیم

سناریوی اقلیمی	حضور پایدار	غیاب پایدار	رویشگاه‌های مطلوب از دست رفته		رویشگاه‌های مطلوب به دست آمده		تغییرات رویشگاه‌های مطلوب
			کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	
RCP 4.5	۴۰۰۱	۲۷۶۳۷	۱۱۴۵	۲۲/۲۵	۱۳۷	۲/۶۶	-۱۹/۵۹
RCP 8.5	۳۲۸۲	۲۷۷۰۰	۱۸۶۴	۳۶/۲۲	۷۴	۱/۴۴	-۳۴/۷۸



شکل ۴- تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه *A. textilis* تحت تأثیر تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ میلادی در استان مازندران، (الف): تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه تحت تأثیر سناریو RCP 4.5، (ب): تغییرات اندازه محدوده پراکنش گونه تحت تأثیر سناریو RCP 8.5

نتایج تحلیل تغییرات ارتفاعی رویشگاه‌های مطلوب گونه *A. textilis* تحت تأثیر اقلیم نشان داد که در شرایط فعلی، میانگین ارتفاع از سطح دریا برای رویشگاه‌های این گونه معادل ۲۹۸۸ متر است. از طرف دیگر در اثر تغییر اقلیم، میانگین ارتفاع از سطح دریا برای رویشگاه‌های مطلوب تا سال ۲۰۵۰ میلادی تحت بدبینانه‌ترین سناریو (RCP 8.5)، معادل ۳۲۱۰ متر خواهد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

همه روش‌های مدل‌سازی استفاده شده برای پیش‌بینی پراکنش گونه *A. textilis* دارای مقدار میانگین AUC بالاتر از ۰/۹ و TSS بالاتر از ۰/۸ بودند که نشان می‌دهد این مدل‌ها دارای دقت کافی برای پیش‌بینی پراکنش گونه *A. textilis* در منطقه مورد مطالعه هستند. در بین همه مدل‌ها بر اساس شاخص AUC و TSS مدل‌های RF و GBM بهترین پیش‌بینی را داشتند. جعفریان و همکاران (2019) نیز در بررسی پراکنش برخی از گونه‌های گیاهی غالب مراتع استان مازندران روش RF را به عنوان روشی کارآمد در پراکنش گونه‌های منطقه ذکر کردند. در راستای یافته‌های این تحقیق نیز محققان دیگر روش RF را به دلیل ویژگی‌های آن از جمله دقت در طبقه‌بندی، توانایی مدل‌سازی تعاملات پیچیده بین متغیرهای پیش‌بینی و استفاده از روش جدید در تعیین اهمیت متغیرها به عنوان روشی کارآمد معرفی کردند (Syphard and Franklin, 2011; Dubuis et al., 2017; Mi et al., 2017; Vilar et al., 2009). ثبات بالا و سادگی تعمیم به عنوان مزایای مدل GBM گزارش شده است (Catry et al., 2009; al., 2010). در مطالعه دیگری در مراتع ییلاقی مازندران مدل GBM به عنوان مدلی کارآمد برای پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی معرفی گردید (جعفریان و کارگر، ۱۳۹۶).

میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی، مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال و مجموع بارندگی سردترین فصل سال به ترتیب بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه *A. textilis* داشتند. افزایش گازهای گلخانه‌ای با تأثیر بر دی‌اکسید کربن جو بر دما و بارش اثر گذاشته و سبب تأثیر بر پراکنش گونه‌ها می‌شود (IPCC., 2014). افزایش دما به همراه کاهش آب در دسترس گیاهان، سبب افزایش دفعات وقایع شدید آب و هوایی و خشکسالی‌های مکرر شده، مقاومت اکوسیستم را در برابر تنش کاهش می‌دهد (Lioret et al., 2005). منگات و همکاران (Menegat, 2018) در مطالعه‌ای بر روی گونه گندمی *Alopecurus myosuroides* نشان دادند که دو عامل دمای هوا و آب در دسترس، در هنگام رسیدن بذر این گونه گندمی نقش مهمی دارند. واگنر و اُپلینگر (Wagner and Oplinger., 2016) در بررسی جوانه‌زنی گونه *Alopecurus aequalis* نشان دادند که افزایش دما جوانه‌زنی گونه را کاهش می‌دهد. شریفی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در بررسی گونه *A.*

textilis نشان دادند که رشد این گونه گندمی وابسته به رطوبت بوده و تحمل کمتری به شرایط خشکی دارد. همچنین آلبوکوثرکو و همکاران (Albuquerque et al., 2019) نشان دادند که زیستگاه مناسب گندمیان تحت تأثیر بارش سالیانه و میانگین سالانه درجه حرارت است. کاهش بارندگی در اثر تغییر اقلیم می‌تواند بر مراحل حیاتی تاریخ زندگی گیاه از قبیل جوانه‌زنی و گلدهی گیاهچه در بهار و یا اوایل تابستان تأثیر بگذارد (Walck et al., 2011). گزارشات زیادی دما و بارش را به عنوان عوامل مهم مؤثر بر پراکنش گونه‌ای ذکر کرده‌اند (Wilson et al., 2019; Moraitis et al., 2019; Wang et al., 2019; Amissah et al., 2014).

نتایج حاصل از پراکنش گونه *A. textile* تحت تأثیر اقلیم نشان می‌دهد که این گونه در شرایط اقلیمی گرم‌تر، بخش‌های وسیعی از رویشگاه‌های مناسب خود را از دست خواهد داد. کان و همکاران (Kane et al., 2017) در مطالعه‌ای نشان دادند که گندمیان به تغییر اقلیم حساس بوده و رویشگاه مناسب گونه‌های گندمی در اثر تغییر اقلیم کاهش می‌یابد که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد. تغییر اقلیم اندازه دامنه پراکنش جغرافیایی گونه‌ها مهم‌ترین شاخص اندازه‌گیری آسیب‌پذیری گونه‌ها در برابر انقراض است (Leao et al., 2014). اگر چه تغییرات دامنه پراکنش ممکن است در بقای گونه‌ها نقش داشته باشد، اما سبب می‌شود که آن‌ها را در معرض فشار عوامل زنده و غیر زنده جدیدی قرار دهد که با آن ناسازگار هستند و منجر به از بین رفتن تعاملات پیچیده گونه‌ها شده، ثبات و پایداری جوامع و گونه‌های بومی محلی را تهدید کند (Dagnino et al., 2020). کاهش موفقیت در تولید مثل (Galloway and Burgess, 2012)، کاهش فراوانی گونه‌ها (Calinger, 2015) کاهش سازگاری و تنوع ژنتیکی (Pauls et al., 2013)، تغییر در صفات مرتبط با تولید مثل و رقابت با گونه‌های بومی (Etterson and Mazer, 2016) برخی از پیامدهای تغییر دامنه پراکنش گونه‌ها هستند. این موضوع که پراکنش گونه گیاهی در آینده تا چه حد محقق شود بستگی به ظرفیت پراکنش و خصوصیات چشم انداز دارد (Schippers et al., 2011; Opdam and Wascher, 2004). تحقیقات نشان دادند که همه گیاهان به یک اندازه به تغییرات اقلیمی حساس نیستند (Corlett and Westcott., 2013). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که تحت سناریوهای آینده اقلیمی، رویشگاه بسیاری از گونه‌ها تغییر می‌کند و افزایش یا کاهش می‌یابد (Guan et al., 2020; Niskanen et al., 2019; Thomas, 2010).

بر اساس یافته‌های حاصل از این مطالعه، در شرایط فعلی میانگین ارتفاع از سطح دریا برای گونه مورد مطالعه ۲۹۸۸ متر است. مقیمی (۱۳۸۴) نیز دامنه ارتفاعی گونه *A. textile* را ۲۵۰۰ تا ۳۹۵۰ متر گزارش کرد. شریفی و همکاران (۱۳۹۵) ارتفاع رویشگاه گونه *A. textile* در دامنه شمالی سبلان

را ۲۵۰۰ تا ۳۳۵۰ متر گزارش نمودند. نتایج حاصل از تغییرات ارتفاع از سطح دریا نسبت به شرایط فعلی افزایش ارتفاع گونه *A. textilis* را با تغییر اقلیم نشان داد. در سطح جهانی نیز پراکنش گونه‌ها با سرعت متوسط ۱۱ متر در هر دهه به ارتفاعات بالاتر گزارش شده است (Chen et al., 2011). در مطالعات دیگر نیز الگوهای مشابهی برای گسترش ارتفاعی پراکنش گونه‌ها تحت تأثیر اقلیم گزارش شده است (نقی‌پور برج و همکاران، ۱۳۹۹؛ طیموری اصل و همکاران، ۱۳۹۹؛ Ghehsareh Ardestani and Heidari Ghahfarrokhi., 2021). با گرم شدن کره زمین گونه‌ها به ارتفاعات یا عرض‌های جغرافیایی بالا مهاجرت می‌کنند (Sun et al., 2020) و گونه‌هایی که رویشگاه مناسبی برای مهاجرت به ارتفاعات ندارند یا با محیط جدید سازگار شده و یا منقرض می‌شوند (Rana et al., 2020). ناهمگنی مناطق کوهستانی به صورت توپوگرافی پیچیده و متنوع می‌تواند زیستگاه‌های متنوع و پناهگاه‌هایی برای گونه‌های مختلف گیاهی فراهم کند (Sun et al., 2020). همچنین به نظر می‌رسد عوامل مرتبط با تغییرات آب و هوایی مانند درجه حرارت بالاتر و طولانی‌تر شدن فصل رشد، شرایط مناسبی را برای برخی از گونه‌های گیاهی که به سمت بالا مهاجرت کرده‌اند ایجاد کند (Woldearegay, 2020).

اگر چه سایر عوامل محیطی از جمله نوع خاک، فاصله از منابع آب، گرده افشان‌ها، رقابت، فعالیت‌های انسانی (Thuiller., 2004) نیز می‌توانند بر پراکنش گونه‌ای تأثیر بگذارند، با این حال پیش‌بینی چگونگی تأثیر این عوامل بر پراکنش گونه‌ای در سطح وسیع دشوار می‌باشد و در بسیاری از مطالعات پراکنش گونه‌ای فاکتورهای اقلیمی به عنوان یک عامل غالب و مؤثر بر تغییرات پراکنش گونه‌ای ذکر شده است (Pearson and Dawson., 2003).

با توجه به اهمیت تغییر اقلیم بر بسیاری از جنبه‌های اکوسیستم‌های مرتعی از قبیل تنوع زیستی، ظرفیت چرا، ترکیب گونه‌ها و کیفیت علوفه، درک اهمیت موضوع تغییر اقلیم و پیش‌بینی تغییرات احتمالی آینده برای ارزیابی آسیب‌پذیری گونه‌ها در اثر تغییرات سریع اقلیمی و توسعه استراتژی‌های مدیریتی سازگار با شرایط منطقه ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که گونه گندمی *A. textilis* علاوه بر تولید علوفه برای مرتعداران، به سبب تاج پوشش گسترده‌ای که ایجاد می‌کند، می‌تواند در حفاظت آب و خاک نقش بسیار مهمی ایفا کند، بنابراین توجه مدیران منابع طبیعی به حفظ این گونه با ارزش در استان مازندران ضروری به نظر می‌رسد. در پایان پیشنهاد می‌شود که در مدیریت عرصه‌های طبیعی اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، حفاظتی و احیا در رابطه با این گونه با مد نظر قرار دادن اثر تغییر اقلیم و سازگار با این تغییرات صورت گیرد.

منابع

- امیری، م.، ترکش، م.، جعفری، ر. ۱۳۹۸. پیش‌بینی پراکنش گونه *Artemisia sieberi* Besser تحت تأثیر تغییر اقلیم در مراتع استپی و نیمه‌استپی ایران - تورانی. مدیریت بیابان، ۱۳: ۲۹-۴۸.
- آذرینوند، ح.، زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۹. اصلاح مراتع. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۵۴ صفحه.
- جعفری، م. ۱۳۸۷. تحقیق و تحلیل تغییر اقلیم طی پنجاه سال گذشته در جنگل‌های منطقه خزری. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶(۲): ۳۲۶-۳۱۴.
- جعفریان، ز.، کارگر، م. ۱۳۹۶. مقایسه مدل‌های جنگل تصادفی (RF) و درخت رگرسیون تقویت‌شده (BRT) در پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی در مراتع پلور مازندران. بوم‌شناسی کاربردی، ۶(۱): ۴۱-۵۵.
- سنگونی، ح.، فرزادمهر، ج. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گاوزبان وحشی در استان خراسان رضوی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳(۲۷): ۱۶۲-۱۴۵.
- شریفی، ج.، جعفری، ع.ا.، رستمی کیا، ی. ۱۳۹۷. ارزیابی شاخص‌های ارجحیت تعدادی از گونه‌های مرتعی برای اصلاح و احیاء مراتع نیمه‌استپی (مطالعه موردی: سایت تحقیقاتی مرتع، اردبیل). مرتع و آب‌خیزداری، ۷۱(۳): ۶۵۹-۶۶۶.
- شریفی، ج.، قربانی، ا.، فیاض، م.، عشوری، پ. ۱۳۹۵. تیپ‌های گیاهی و شکل زیستی گیاهان مراتع آلی سبلان در استان اردبیل. اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۷(۲): ۶۵-۷۵.
- طیموری اصل، س.، نقی‌پور برج، ع.ا.، اشرف زاده، م.ر.، حیدریان، م. ۱۳۹۹. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه بالقوه استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr). مرتع، ۱۴(۳): ۵۲۶-۵۳۸.
- مقیم، ج. ۱۳۸۴. معرفی برخی گونه‌های مهم مرتعی مناسب برای توسعه و اصلاح مراتع ایران، انتشارات آرون، ۶۷۰ صفحه.
- نقی پور برج، ع.ا.، اشرف زاده، م.ر.، حیدریان، م. ۱۳۹۹. مدل‌سازی پراکنش بالقوه فعلی و آینده گونه لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.) تحت سناریوهای تغییر اقلیمی و با استفاده از سه مدل گردش عمومی در ایران. حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۸(۱۷): ۲۱۹-۲۳۵.
- Albuquerque, F.S., Macias-Rodriguez, M.A., Burquez, A., Astudillo-Scalia, Y. 2019. Climate change and the potential expansion of buffelgrass (*Cenchrus ciliaris* L., Poaceae) in biotic communities of Southwest United States and northern Mexico. *Biological Invasions*, 21(11): 3335-3347.
- Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43: 1223-1232.

- Amissah, L., Mohren, G.M.J., Bongers, F., Hawthorne, W.D., Poorter, L. 2014. Rainfall and temperature affect tree species distribution in Ghana. *Journal of Tropical Ecology*, 5 (30): 435-446.
- Araujo, M.B., New, M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in ecology & evolution*, 22 (1): 42-47.
- Araujo, M.B., Pearson, R.G., Thuiller, W., Erhard, M. 2005. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11 (9): 1504-1513.
- Calinger, K.M. 2015. A functional group analysis of change in the abundance and distribution of 207 plant species across 115 years in north-central North America. *Biodiversity and Conservation*, 24: 2439-2457.
- Catry, F.X., Rego, F.C., Bacao, F.L., Moreira, F. 2009. Modelling and mapping the occurrence of wildfire ignitions in Portugal. *International Journal Of Wildland Fire*, 18 (8): 921-931.
- Chen, I.C., Hill, J.K., Ohlemuller, R., Roy, D.B., Thomas, C.D. 2011. Rapid range shifts of species associated with levels of climate warming. *Science*, 333: 1024-1026.
- Corlett, R.T., Westcott, D.A. 2013. Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution*, 28 (8): 482-488.
- Dagnino, D., Guerrina, M., Minuto, L., Mariotti, M.G., Medail, F., Casazza, G. 2020. Climate change and the future of endemic flora in the South Western Alps: relationships between niche properties and extinction risk. *Regional Environmental Change*, 20: 121.
- Dubuis, A., Pottier, J., Rion, V., Pellissier, L., Theurillat, J.P., Guisan, A. 2011. Predicting spatial patterns of plant species richness: A comparison of direct macroecological and species stacking modelling approaches. *Diversity and Distributions*, 17 (6): 1122-1131.
- Elith, J., Graham, C.H. 2009. Do they? how do they? why do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*, 32: 66-77.
- Etterson, J.R., Mazer, S.J. 2016. How climate change affects plants' sex lives. *Science*, 353: 32- 33.
- Ferrarini, A., Dai, J., Bai, Y., Alatalo, J. M. 2019. Redefining the climate niche of plant species: A novel approach for realistic predictions of species distribution under climate change. *Science of the Total Environment*, 671: 1086-1093.
- Galloway, L.F., Burgess, K.S. 2012. Artificial selection on flowering time: Influence on reproductive phenology across natural light environments. *Journal of Ecology*, 100: 852- 861.
- Ghahramani, A., Moore, A.D. 2015. Systemic adaptations to climate change in southern Australian grasslands and livestock: Production, profitability, methane emission and ecosystem function. *Agricultural Systems*, 133: 158-166.

- Ghehsareh Ardestani, E., Heidari Ghahfarrokhi, Z. 2021. Ensemble species distribution modeling of *Salvia hydrangea* under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01488.
- Gillison, A.N. 2019. Plant functional indicators of vegetation response to climate change, past present and future: I. Trends, emerging hypotheses and plant functional modality. *Flora*, 254: 12-30.
- Graham, M.H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, 84 (11): 2809-2815.
- Guan, B., Guo, H., Chen, S., Li, D., Liu, X., Gong, X., Ge, G. 2020. Ecological Informatics Shifting ranges of eleven invasive alien plants in China in the face of climate change. *Ecological Informatics*, 55: 101024.
- Guisan, A., Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- Hijmans, R.J., Etten, J.V., Cheng, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., Greenberg, J. 2017. Raster: geographic data analysis and modeling. R package version 2.3-33; 2016
- IPCC, 2014 Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- IPCC, Global Warming of 1.5 °C, 2018. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The physical science basis Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Kane, K., Debinski, D.M., Anderson, C., Scasta, J.D., Engle, D.M., Miller, J.R. 2017. Using regional climate projections to guide grassland community restoration in the face of climate change. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1-11.
- Kurpis, J., Serrato-Cruz, M.A., Feria Arroyo, T.P. 2019. Modeling the effects of climate change on the distribution of *Tagetes lucida* Cav. (Asteraceae). *Global Ecology and Conservation*, 20: e00747.
- Leao, T.C.C., Fonseca, C.R., Peres, C.A., Tabarelli, M. 2014. Predicting extinction risk of Brazilian Atlantic forest angiosperms. *Conservation Biology*, 28: 1349 - 1359.
- Lioret, F., Siscart, D., Dalmases, C. 2005. Canopy recovery after drought dieback in holm-oak Mediterranean forests of Catalonia (NE Spain). *Global Change Biology*, 10: 2092-2099.

- Ma, Z., Liu, H., Mi, Z., Zhang, Z., Wang, Y., Xu, w., Jiang, L., He, j. 2017. Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production. *Nature Communications*, 8: 1-7.
- Mahmoudi Shamsabad, M., Assadi, M., Parducci, L. 2019. Phylogeography and population genetics of *Acanthophyllum squarrosum* complex (Caryophyllaceae) in the Irano-Turanian region. *Systematics and Biodiversity*, 17 (4): 412-421.
- Menegat, A., Milberg, P., Nilsson, A.T.S., Andersson, L., Vico, G. 2018. Soil water potential and temperature sum during reproductive growth control seed dormancy in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Ecology and Evolution*, 8 (14): 7186-7194.
- Mi, C., Huettmann, F., Guo, Y., Han, X., Wen, L. 2017. Why to choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas? Three Asian crane species models provide supporting evidence. *PeerJ*, 5: e2849.
- Miller, J. 2010. Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4: 490-509.
- Moraitis, M.L., Valavanis, V.D., Karakassis, I. 2019. Modelling the effects of climate change on the distribution of benthic indicator species in the Eastern Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment*, 667: 16-24.
- Moritz, C., Agudo, R. 2013. The future of species under climate change: Resilience or decline? *Science*, 341: 504-508.
- Naimi, B., Hamm, N.A., Groen, T.A., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G. 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*. 37: 191-203.
- Niskanen, A.K.J., Niittynen, P., Aalto, J., Vare, H., Luoto, M. 2019. Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. *Diversity and Distributions*, 25: 809-821.
- Opdam, P., Wascher, D. 2004. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, 117: 285-297.
- Oyebanji, O.O., Salako, G., Nneji, L.M., Oladipo, S.O., Bolarinwa, K.A., Chukwuma, E.C., Ayoola, A.O., Olagunju, T.E., Ighodalo, D.J., Nneji, I.C. 2021. Impact of climate change on the spatial distribution of endemic legume species of the Guineo-Congolian forest, Africa. *Ecological Indicators*, 122: 107282.
- Pauls, S.U., Nowak, C., Balint, M., Pfenninger, M. 2013. The impact of global climate change on genetic diversity within populations and species. *Molecular Ecology*, 22: 925-946.
- Pearson, R.G., Dawson, T.P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global ecology and biogeography*, 12 (5): 361-371.

- Rana, H.K., Luo, D., Rana, S.K., Sun, H. 2020. Geological and climatic factors affect the population genetic connectivity in *Mirabilis himalaica* (Nyctaginaceae): Insight from phylogeography and dispersal corridors in the Himalaya-Hengduan Biodiversity Hotspot. *Front. Plant Sci*, 10:1721.
- Schippers, P., Verboom, J., Vos, C.C., Jochem, R. 2011. Metapopulation shift and survival of woodland birds under climate change: will species be able to track? *Ecography*, 34: 909-919.
- Seddon, A.W.R., Macias-fauria, M., Long, P.R., Benz, D., Willis, K.J. 2016. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature*, 531: 229-232.
- Sintayehu, D.W. 2018. Impact of climate change on biodiversity and associated key ecosystem services in Africa: a systematic review. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4 (9): 225-239.
- Sun, S., Zhang, Y., Huang, D., Wang, H., Cao, Q., Fan, P., Yang, N., Zheng, P., Wang, R. 2020. Science of the Total Environment The effect of climate change on the richness distribution pattern of oaks (*Quercus* L.) in China. *Science of the Total Environment*, 744. 140786.
- Syphard, A.D., Franklin, J. 2009. Differences in spatial predictions among species distribution modeling methods vary with species traits and environmental predictors. *Ecography*, 32(6): 907-918.
- Thomas, C.D. 2010. Climate, climate change and range boundaries. *Diversity and Distributions*, 16: 488-495.
- Thuiller, W. 2004. Patterns and uncertainties of species range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10: 2020-2027.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., Araujo, M.B. 2009. BIOMOD - A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32 (3): 369-373.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109 (1): 5-31.
- Venkataraman, K., Tummuri, S., Medina, A., Perry, J. 2016. 21st century drought outlook for major climate divisions of Texas based on CMIP5 multimodel ensemble: Implications for water resource management. *Journal of hydrology*, 534: 300-316.
- Vilar, L., Woolford, D. G., Martell, D.L., Pilar Martin, M. 2010. A model for predicting human-caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 19 (3): 325-337.
- Wagner, E. J., Oplinger, R.W. 2017. Effect of overwinter hydration, seed storage time, temperature, and photoperiod on germination of some *Carex*, *Juncus*, and *Alopecurus* species. *Aquatic Botany*, 137: 39-49.

- Walck, J.L., Hidayati, S.N., Dixon, K.W., Thompson, K.E.N., Poschlod, P. 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology*, 17: 2145-2161.
- Wang, B., Deveson, E.D., Waters, C., Spessa, A., Lawton, D., Feng, P.Y., Liu, D.L. 2019. Future climate change likely to reduce the Australian plague locust (*Chortoicetes terminifera*) seasonal outbreaks. *Science of the Total Environment*, 668: 947-957.
- Weiland, F.S., Van Beek, L.P.H., Weerts, A.H., Bierkens, M.F.P. 2012. Extracting information from an ensemble of GCMs to reliably assess future global runoff change. *Journal of Hydrology*, 412: 66-75.
- Wilson, K.L., Skinner, M.A., Lotze, H.K. 2019. Projected 21st-century distribution of canopy-forming seaweeds in the Northwest Atlantic with climate change. *Diversity and Distributions*, 25: 582-602.
- Woldearegay, M. 2020. Climate change impacts on the distribution and phenology of plants: A review. *Tropical Plant Research*, 7 (1): 196-204.
- Yi, Y.J., Zhou, Y., Cai, Y.P., Yang, W., Li, Z.W., Zhao, X. 2018. The influence of climate change on an endangered riparian plant species: the root of riparian *Homonoia*. *Ecological indicators*, 92: 40-50.