مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۱ (۱۶-۱)

پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *Bromus tomentellus* Boiss تحت دو مدل هشدار اقلیمی ($Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$) در اکوسیستم‌های مرتعی استان اردبیل

جواد معتمدی [*]

motamedi@rifr-ac.ir

مرتضی خداقلی [۱]

راضیه صبوحی [۲]

علیرضا افتخاری [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: تغییرات اقلیمی در دو دهه اخیر، یک موضوع جدی بوده است و بسیاری از مطالعات، بر روی جنبه‌های مختلف آن متمرکز شده‌اند. بنابراین، ضرورت دارد که رویشگاه بالقوه گونه‌های شاخص مرتعی، در حال حاضر و سال‌های آینده، تحت مدل‌های هشدار اقلیمی، مشخص گردد. از این‌رو، در پژوهش حاضر، با تهیه نقشه رخداد پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *Bromus tomentellus*، تحت دو مدل هشدار اقلیمی (سناریو $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$)، جابجایی آن، در عرض‌های جغرافیایی، در سطح اکوسیستم‌های مرتعی استان اردبیل، مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: برای این منظور، در فصل رویش ۱۳۹۹، از ۱۹ متغیر زیست اقلیمی و سه متغیر فیزیوگرافی و مدل رگرسیون لجستیک، برای تعیین کمیت تغییر اقلیم در سه دهه آینده (سال ۲۰۵۰) و بررسی دقیق اثرات آن بر تغییر گستره گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و آینده، استفاده شد. نقشه‌های خروجی نیز با احتمال رخداد بین صفر تا یک، به چهار طبقه؛ رویشگاه نامناسب (۰/۲۵-۰)، رویشگاه تقریبا مناسب (۲۵/۵-۰/۰)، رویشگاه با تناسب بالا (۰/۷۵ - ۰/۵) و رویشگاه با تناسب خیلی بالا (۱-۰/۷۵)، گروه‌بندی شد و با استناد به ضرایب متغیرها در روابط رگرسیونی، متغیرهای موثر برای گستره کنونی و آینده، معرفی گردید.

یافته‌ها: میانگین دمای سالانه (BIO_1)، دامنه دمای سالانه (BIO_7) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11})، بیشترین اهمیت را برای تناسب رویشگاه دارند که مقادیر آنها، با سخت‌تر شدن شرایط اقلیمی، افزایش می‌یابد. میانگین دمای سالانه رویشگاه‌های مناسب، طی سه

۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. [*](مسوول مکاتبات)

۲- کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

دهه آینده، ۱/۶ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد، افزایش خواهد داشت. ارتفاع رویشگاه‌های مناسب نیز، ۱۱۵ تا ۱۹۰ متر، بیشتر خواهد شد. در نتیجه، سطح رویشگاه مناسب آن، در واکنش به تغییرات اقلیمی، کمتر می‌شود. همچنین تحت سناریوی‌های اقلیمی، ۳۰/۲ درصد از رویشگاه‌های مناسب خود را در سال ۲۰۵۰، از دست خواهد داد و رویشگاه‌های نامناسب فعلی نیز، ۲۹/۴ درصد افزایش خواهد یافت.

بحث و نتیجه‌گیری: در مجموع؛ تغییر اقلیم و افزایش شاخصه‌های دمایی، باعث حرکت گونه *B. tomentellus* به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی، خواهد شد. از این‌رو، طی سه دهه آینده، خطر حذف آن از اکوسیستم‌های مرتعی استان اردبیل، وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم‌های مرتعی، رگرسیون لجستیک، سناریو اقلیمی، مدل پراکنش گونه‌ای

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.8, November, 2022

Forecasting the current and future range of *Bromus tomentellus* Boiss species under two climate warning models ($Rcp_{4.5}$ and $Rcp_{8.5}$) in rangeland ecosystems of Ardabil province

Javad Motamedi [1*]
motamedi@rifr-ac.ir
Morteza Khodagholi[1]
Rozieh Sabohi [2]
Ali Reza Eftekhari [3]

Admission Date: September 5, 2022 Date Received: April 15, 2022

Abstract

Background and Objective: Climate change has been a serious issue in the last two decades and many studies have focused on its various aspects. Therefore, it is necessary to determine the potential habitat of rangeland index species, currently and in the coming years, under climate warning models. Therefore, in the present study, by preparing a prediction map of the current and future range of *Bromus tomentellus* species, under two climate warning models ($Rcp_{4.5}$ and $Rcp_{8.5}$ scenarios), its movement, in latitudes, at the level of rangeland ecosystems of Ardabil province was investigated.

Material and Methodology: For this purpose, in the growing season of 2020, from 19 bioclimatic variables and three physiographic variables and a logistic regression model, to determine the quantity of climate change in the next three decades (2050) and to carefully examine its effects on the change in the range of *B. tomentellus* species now and in the future, used. The output maps are divided into four categories with the probability of occurrence between zero and one; unsuitable habitat (0-0.25), almost suitable habitat (0.25-0.5), habitat with high suitability (0.5-0.75) and habitat with very high suitability (0.75-1), it was grouped and based on the coefficients of the variables in the regression relationships, the effective variables for the current and future range were introduced.

Findings: The average annual temperature (BIO_1), the annual temperature range (BIO_7) and the average temperature of the coldest season (BIO_{11}) are the most important for the suitability of the habitat, and their values increase with the harsher climatic conditions. The average annual temperature of its suitable habitats will increase by 1.6 to 2.1 degrees Celsius in the next three decades. The height of its suitable habitats will increase from 115 to 190 meters. As a result, the level of its suitable habitat decreases in response to climate change. Also, under climate scenarios, 30.2% of suitable climate habitats will be lost in 2050, and current unsuitable habitats will increase by 29.4%.

1- Associate Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- Research Expert, Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.
3- Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Discussion and Conclusion: In general; climate change and increase in temperature will cause *B. tomentellus* species to move to higher latitudes along the altitude gradient. Therefore, in the next three decades, there is a risk of removing it from the rangeland ecosystems of Ardabil province.

Keywords: Rangeland ecosystems, Climate change, Logistic regression, Climate scenario, Species distribution model.

مقدمه

اقلیم، به‌عنوان میانگین بلند مدت آب و هوای یک منطقه، شناخته می‌شود (۱). تغییر در این میانگین، عموماً به دو صورت رخ می‌دهد: نوسانات کوتاه مدت که تصادفی هستند و تغییرات بلند مدت که از یک روند خاص، پیروی می‌کنند. تغییرات بلند مدت، به‌عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود که در دهه‌های اخیر، به شدت، افزایش یافته است (۲). نتایج منفی این تغییرات، منجر به کاهش مقاومت گونه‌های گیاهی و توان ماندگاری آنها و در نتیجه کاهش تنوع زیستی شده است (۳، ۴). پیش‌بینی شده است که با افزیش ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد به متوسط دمای کره زمین، ۲۰ تا ۳۰ درصد گونه‌های گیاهی و جانوری در خطر نابودی قرار خواهند گرفت. همچنین جذب کربن، توسط اکوسیستم‌ها تا نیمه قرن بیست و یکم، افزایش یافته و سپس تضعیف و یا معکوس می‌گردد و اکوسیستم‌ها، نه تنها قادر به جذب دی اکسید کربن نمی‌شوند، بلکه باعث رها شدن دی اکسید کربن به داخل جو خواهند شد و تغییر اقلیم را تشدید می‌نمایند (۵). تغییرات مذکور، کاهش چشمگیر پهنه‌های اقلیم مرطوب و افزایش اقلیم خشک و در نتیجه کاهش شدید رطوبت در اکوسیستم‌های طبیعی را حادث شده است (۶). این موضوع نیز کاهش جوانه‌زنی بذور، کاهش شادابی گونه‌ها، کاهش فلور میکروبی خاک، کاهش کیفیت خاک و در نتیجه، زوال گونه‌ها و افزایش روند بیابان‌زایی را به‌دنبال داشته است. نهایتا این‌که؛ افزایش دما، موجب کاهش ضریب آسایش زیست اقلیمی گردیده و برخی گونه‌های گیاهی و جانوری که توان سازگاری با تغییر اقلیم را ندارند، از زیستگاه دائمی خود، مهاجرت کرده یا به‌تدریج، از بین می‌روند (۷، ۸).

مدل‌سازی اکولوژیکی گونه‌ها، از جمله روش‌هایی است که می‌تواند این اثرات را پایش کرده و ابعاد آنها را تعیین کند. نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی، می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مختلف مدیریتی، بسیار مفید باشد (۹). یکی از تأثیرات عمده که تغییرات در شرایط محیطی به‌طور کلی و تغییرات آب و هوایی به‌طور خاص، می‌تواند بر زندگی گیاهان داشته باشد؛ تغییر در توزیع جغرافیایی آنها است (۱۰). از آنجایی که گیاهان نمی‌توانند سریع و جداگانه حرکت کنند؛ به تغییرات محیطی، با تاخیر نسبتا طولانی، پاسخ می‌دهند. آنها پس از تغییر اقلیم در محیط جغرافیایی، جابجا می شوند تا شرایط محیطی را که برای زندگی آنها مناسب‌تر است، بیابند (۱۱).

مطالعات زیادی به بررسی ابعاد و جهت‌گیری این تغییرات، اختصاص یافته است. برای مثال، با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی گونه‌های درختی، بیان شد که تغییرات اقلیمی، می‌تواند باعث از بین رفتن بخش‌هایی از رویشگاه و متعاقباً تنوع ژنتیکی در سطح زیر گونه، شود (۱۲). مطالعات مختلفی به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات اقلیمی، باعث تغییرات در توزیع جغرافیایی و فضایی گونه‌ها می‌شود. بنابراین، برنامه‌ریزی برای حفاظت و احیای این گونه‌ها، مورد نیاز است (۱۳). با بررسی خطر انقراض گونه‌های مختلف در نتیجه تغییرات اقلیمی، گزارش شد که اکثر گونه‌های مورد مطالعه، از کاهش گستره جغرافیایی خود در نتیجه تغییر اقلیم، رنج می‌برند و حتی برخی از آنها در معرض خطر انقراض قرار می‌گیرند (۱۴). در یکی از بزرگترین مطالعات در مورد تأثیر تغییرات اقلیمی بر بقای گونه‌ها، ۱۳۵۰ گونه گیاهی در اروپا با استفاده از هفت سناریو تغییر اقلیم، مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که تغییرات اقلیمی، می‌تواند تهدیدی برای تنوع زیستی گیاهی در اروپا باشد (۱۵).

با بررسی تغییر گستره گونه *Bromus tomentellus* در واکنش به تغییرات اقلیمی در منطقه زاگرس مرکزی؛ گزارش شد که گونه *B. tomentellus*، ۶۵ درصد از رویشگاه‌های آب و هوایی مناسب خود را به‌دلیل تغییرات اقلیمی، در سال ۲۰۸۰ از دست خواهد داد؛ در حالی که ۱۴ درصد از رویشگاه‌های نامناسب فعلی، مناسب خواهند شد. بنابراین، رویشگاه آن تا ۵۱ درصد کاهش می‌یابد که بیشترین تلفات رویشگاه، در دشت‌ها و تقریباً تمام افزایش رویشگاه، در ارتفاعات است. در این ارتباط، از بارندگی سالانه (BIO_{12})، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (BIO_8)، میانگین دمای روزانه (BIO_2) و دمای فصلی (BIO_4)، به‌عنوان شاخصه‌های موثر بر تناسب رویشگاه، ذکر شده است (۱۳). همچنین با بررسی اثر تغییر اقلیم بر آشیان اکولوژیک گونه *B. tomentellus* با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در مناطق مختلف آب و هوایی استان اصفهان؛ گزارش شد که گونه *B. tomentellus*، در محدوده ارتفاعی ۳۵۰۰-۲۵۰۰ متر، شیب ۳۰-۱۰ درجه، بارش سالیانه ۲۶۰-۲۴۰ میلی‌متر و متوسط دمای ۱۰-۸ درجه سانتی‌گراد، از احتمال رخداد بیشتری برخوردار است. گستره جغرافیایی گونه مذکور در دو دوره زمانی سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ نیز نشان داد که تحت سناریو خوشبینانه، ۴۶/۱ کیلومتر مربع به مساحت رویشگاه گونه افزوده و تحت سناریوی بدبینانه، ۳۵/۷ کیلومتر مربع از سطح مناسب رویشگاه این گونه کاسته می شود (۱۶). نتایج مرتبط با بررسی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه *B. tomentellus* در زاگرس جنوبی (استان فارس) بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم، نشان داد که گونه *B. tomentellus* در سناریو $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$، به‌ترتیب معادل ۱۷۰ و ۲۶۰ متر به ارتفاعات بالاتر، مهاجرت خواهد کرد. همچنین مساحت مناطق مناسب رویشگاه گونه، از ۲۶/۸ درصد مساحت رویشگاه‌های مرتعی زاگرس جنوبی در شرایط کنونی، به ۸/۵ درصد تحت شرایط سناریو $RCP_{4.5}$ و ۱/۷ درصد تحت سناریو بدبینانه ($RCP_{8.5}$)، در سال ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت (۱۷). نتایج مرتبط با پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی البرز جنوبی (استان قزوین)، نشان داد که میانگین دمای سالانه (BIO_1)، دامنه دمای سالانه (BIO_7) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11})، بیشترین اهمیت را برای تناسب رویشگاه دارند که مقادیر آنها، با سخت‌تر شدن شرایط اقلیمی، افزایش می‌یابد. میانگین دمای سالانه در مکان‌هایی با احتمال وقوع بیشتر از ۷۵ درصد؛ طی سه دهه آینده، ۱/۶ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد، افزایش خواهد داشت. ارتفاع رویشگاه‌های مناسب آن نیز، ۱۱۵ تا ۱۹۰ متر، بیشتر خواهد شد. در نتیجه، سطح رویشگاه مناسب آن، در واکنش به تغییرات اقلیمی، کمتر می‌شود. همچنین تحت سناریوی‌های اقلیمی، ۳۰ درصد از رویشگاه‌های آب و هوایی مناسب خود را در سال ۲۰۵۰، از دست خواهد داد و رویشگاه‌های نامناسب فعلی نیز، ۳۵ درصد افزایش خواهد یافت. در مجموع؛ تغییر اقلیم و افزایش شاخصه‌های دمایی، باعث حرکت گونه *B.tomentellus* به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی، خواهد شد. از این‌رو، طی سه دهه آینده، خطر حذف آن از اکوسیستم‌های البرز جنوبی، مشهود خواهد بود (۱۸). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه *Stipa hohenackeriana* در منطقه زاگرس مرکزی برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوهای $Rcp_{2.6}$، $Rcp_{4.5}$، Rcp_6 و $Rcp_{8.5}$ و مدل گردش عمومی MRI-CGCM3؛ نشان داد که ۲۲/۴ درصد از رویشگاه‌های منطقه، در شرایط اقلیمی امروزی، به‌عنوان رویشگاه‌های مطلوب گونه *S. hohenackeriana* می‌باشند. ضمن این‌که، پیش‌بینی شد که به‌واسطه تغییر اقلیم، کمترین و بیشترین سطح رویشگاه نامناسب شده، به‌ترتیب؛ ۱۸/۷ درصد تحت سناریوی $Rcp_{2.6}$ در سال ۲۰۵۰ و ۴۲/۹ درصد تحت سناریوی $Rcp_{8.5}$ در سال ۲۰۷۰ خواهد بود. در این رابطه، موثرترین متغیرها در مطلوبیت رویشگاه، به‌ترتیب؛ میانگین دمای پر بارش‌ترین فصل سال (BIO_8)، تغییرات فصلی بارندگی (BIO_{15}) و شاخص هم‌دمایی (BIO_3)، ذکر شده است (۱۹).

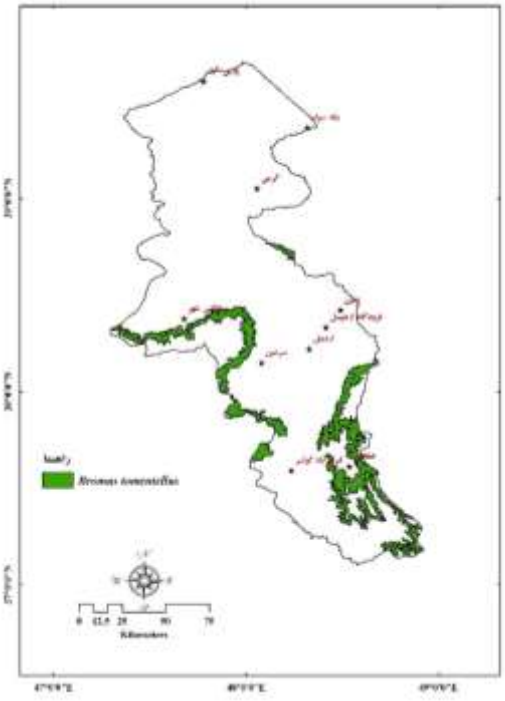
با این‌وجود، با توجه به تنوع زیستی قابل توجه، نیاز مبرمی به انجام مطالعاتی از این دست برای گونه‌های شاخص و عناصر اصلی اکوسیستم‌های مرتعی، وجود دارد. از این‌رو، در پژوهش

حاضر، با تهیه نقشه رخداد پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus*، تحت دو مدل هشدار اقلیمی (سناریو $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$) و مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0؛ جابجایی آن، در عرض‌های جغرافیایی، در سطح اکوسیستم‌های مرتعی استان اردبیل، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

گونه و منطقه مورد مطالعه

گونه *B. tomentellus*، متعلق به خانواده گندمیان و زیر خانواده پوئیده می‌باشد که چند ساله و دارای ریشه‌های فیبری است و سطح برگ‌های آن، پوشیده از کرک‌های سفید و انبوه می‌باشد. پراکنش جهانی آن، محدود به غرب آسیا است و فلور ایرانیکا (۲۰) آن‌را گونه‌ای نیمه استپی تا استپی، توصیف می‌کند که عموما در ارتفاعات ۳۴۰۰-۱۵۰۰ متری، یافت می‌شود. این گونه، در بافت‌های مختلف خاک، مستقر می‌شود و نقش بسزایی در تولید علوفه و کاهش رواناب دارد، اما تحمل شوری خاک را ندارد. ارتفاع، بارندگی و دما، مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر پراکنش آن هستند (۲۱). در استان اردبیل، این گونه از ارتفاع ۳۴۰۰-۱۸۰۰ متری در رویشگاه‌های نیمه استپی، یافت می‌شود. میزان بارندگی رویشگاه‌های آن ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر است که می‌تواند با توجه به میکرو اقلیم، تغییر کند. مساحت محدوده حضور آن در رویشگاه‌های منطقه، ۴۴۲ هزار هکتار می‌باشد که با استناد به دامنه ارتفاعی که در آن مشاهده می‌شود؛ امکان حضور در ۲۸ درصد از سطح رویشگاه‌های مرتعی را دارد (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده حضور گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی استان اردبیل

Figure 1. The range of presence of *B. tomentellus* species in rangeland habitats of Ardabil province

نقاط رخداد (حضور و عدم حضور)گونه *B. tomentellus* در سطح عرصه‌های مرتعی

در ابتدا، با استفاده از نقشه بهنگام شده تیپ‌های گیاهی طرح شناخت مناطق اکولوژیک کشور (تهیه شده توسط موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع)، نقشه اولیه مناطق پراکنش گونه *B. tomentellus* تهیه شد. سپس با بازدید در مناطق مختلف رویشگاه گونه، ارتفاع حداقل و حداکثر پراکنش، مشخص گردید. همچنین با استفاده از نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط

موسسه آب و خاک، کاربری‌هایی غیر از کاربری مرتع از پلی‌گون‌ها، حذف گردید و در محیط ArcGIS 10.5، نقشه‌ها اصلاح گردید و نقشه حضور فعلی گونه، نهایی شد. در مجموع، تعداد ۱۹۵ نقطه، به‌عنوان نقطه حضور، در نظر گرفته شد که بر اساس بازدیدها و مشاهدات میدانی مجریان طرح شناخت مناطق اکولوژیک و با استفاده از GPS، داده‌های رخداد، جمع‌آوری شد. مطالعات میدانی، شامل؛ برداشت مختصات جغرافیایی حضور این گونه در استان اردبیل، در فصل رویش سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام گرفت.

اطلاعات محیطی در محل رخداد گونه *B. tomentellus*

به‌منظور ترسیم لایه اطلاعات محیطی ۱۹ بایو اقلیمی (جدول ۱) برای حال حاضر؛ از داده‌های ۱۱ ایستگاه سینوپتیک استان اردبیل و مناطق مجاور استان، استفاده شد. همچنین برای محاسبه بایوهای اقلیمی آینده (سال ۲۰۵۰)، از سایت WorldClim.org که یکی از سایت‌های تولید داده گزارش پنجم می‌باشد، با دقت ۳۰ ثانیه استفاده گردید. این داده‌ها برای دو سناریو $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ برای دوره آتی به‌دست آمد. همچنین نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، با دقت ۳۰ متر در محیط ArcGIS ترسیم شد. متغیرهای فیزیوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) نیز بر اساس لایه رقومی ارتفاع (DEM) با دقت مکانی ۳۰ متر، محاسبه شد.

هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)[1] در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود AR5، از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های چهار خط سیر کلیدی گازهای گلخانه‌ای با نام‌های RCP2.6، RCP4، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده کرده است که در این پژوهش از دو سناریو RCP 4.5 و RCP8.5، استفاده شد. در سناریو RCP4.5، میزان غلظت دی اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، ۷۵۰ Ppm تخمین زده شده و بازتابش ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای تا قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می‌ماند. در این سناریو، میزان رشد جمعیت،کمتر از سناریوی RCP2.6 تخمین زده شده است. در سناریو RCP8.5، میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، ۱۹۶۰Ppm تخمین زده شده که ادامه روند، منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. یعنی تابش ورودی منهای تابش خروجی از جو، ۸/۵ وات بر متر مربع است (۲۲).

جدول ۱- متغیرهای اقلیمی به‌کار گرفته شده برای پیش بینی پراکنش گونه *B. tomentellus*

Table 1. Climatic variables used to predict the distribution of *B. tomentellus*

ردیف	نام BIO	پارامترهای هواشناسی	ردیف	نام BIO	پارامترهای هواشناسی
۱	BIO_1	میانگین دمای سالانه	۱۱	BIO_{11}	میانگین دمای سردترین فصل
۲	BIO_2	میانگین دامنه دمای روزانه (دمای حداکثر- دمای حداقل)	۱۲	BIO_{12}	بارندگی سالانه
۳	BIO_3	هم‌دمایی ۱۰۰× (BIO_2/BIO_7)	۱۳	BIO_{13}	بارندگی مرطوب‌ترین ماه
۴	BIO_4	دمای فصلی (انحراف معیار×۱۰۰)	۱۴	BIO_{14}	بارندگی خشک‌ترین ماه
۵	BIO_5	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	۱۵	BIO_{15}	بارندگی فصلی (ضریب تغییرات)
۶	BIO_6	حداقل دمای سردترین ماه	۱۶	BIO_{16}	بارندگی مرطوب‌ترین فصل
۷	BIO_7	دامنه دمای سالانه (BIO_5-BIO_6)	۱۷	BIO_{17}	بارندگی خشک‌ترین فصل
۸	BIO_8	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	۱۸	BIO_{18}	بارندگی گرم‌ترین فصل
۹	BIO_9	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	۱۹	BIO_{19}	بارندگی سردترین فصل

1- Inter-Governmental Panel on Climate Change

ردیف	نام BIO	پارامترهای هواشناسی	ردیف	نام BIO	پارامترهای هواشناسی
۱۰	BIO_{10}	میانگین دمای گرم‌ترین فصل			

پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه *B.tomentellus* برای سال ۲۰۵۰ تحت مدل‌های هشدار اقلیمی $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$

به‌منظور پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه *B. tomentellus*، از رگرسیون لجستیک (روابط ۱ و ۲) استفاده شد. به این‌صورت که متغیرهای محیطی در مدل رگرسیون لجستیک، به‌عنوان متغیرهای پیش‌گو (مستقل) و حضور و عدم حضور گونه، به‌عنوان متغیرهای پاسخ (وابسته)، وارد و رفتار رویشی گونه، در شرایط فعلی، محاسبه و معادله مربوطه تعیین گردید. از این معادله، برای پیش‌بینی رویشگاه در سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0 تحت سناریو $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ استفاده گردید. این روش در نرم‌افزار $SPSS_{24}$ اجرا و نتایج آن با استفاده از ArcGIS 10.5، تبدیل به نقشه گردید. نقشه خروجی حاصل از مدل، شامل مقادیر احتمال حضور بین صفر تا یک، برای رویشگاه‌های مورد نظر است که با استفاده از ضریب کاپا، صحت نقشه ترسیمی، تعیین شد.

رگرسیون لجستیک، فرم ویژه‌ای از مدل خطی تعمیم یافته (GLM) است که به‌صورت کلی زیر (رابطه ۱ و ۲) تعریف می‌شود. این مدل‌ها، به انواع مختلف توزیع‌های آماری؛ حساس نیستند و برای روابط غیر خطی؛ مناسب هستند. علاوه بر این، آنها از شیوه‌های سنتی مورد استفاده در مدل‌سازی خطی و تحلیل واریانس استفاده می‌کنند (۱۳).

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}} \qquad (۱)$$

$$z = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + \cdots + B_nx_n \qquad (۲)$$

در روابط فوق، p احتمال حضور، e عدد نپر، z معادله چند متغیره خطی حاصل شده از تابع logit است که در واقع متغیر وابسته یا پاسخ می‌باشد، B_i نشان دهنده ضرایب مدل رگرسیون و X_i متغیرهای مستقل محیطی است. در این مدل، پس از تبدیل متغیر وابسته به متغیر لجیت، از تخمین بیشینه احتمالی استفاده می‌شود تا احتمال رخداد گونه را پیش‌بینی کند (۲۳).

برای محاسبه ضریب آماری کاپا در نرم افزار $SPSS_{24}$، از رابطه ۳، استفاده شد. حداکثر مقدار ضریب آماره مذکور، برابر یک است. یعنی این‌که توافق کامل بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده، وجود دارد. در این رابطه، بیان می‌شود که بهترین روش اندازه‌گیری توافق بین فراوانی‌های مشاهد شده (نقشه پراکنش فعلی) و فراوانی مورد انتظار (نقشه پیش‌بینی)، استفاده از آماره کاپا است (۲۴، ۲۵).

$$K = \frac{\left(\frac{a+d}{n}\right) - \frac{(a+b)(a+c)+(c+d)(d+b)}{n^2}}{1 - \frac{(a+b)(a+c)+(c+d)(d+b)}{n^2}} \qquad (۳)$$

که در آن؛ a نشان‌دهنده مثبت حقیقی، یعنی پیش‌بینی‌هایی که هم در مدل وجود دارد و هم در دنیای واقعی، دیده می شوند و مدل، آنها را به‌عنوان حضور، ثبت می‌کند. b نشان‌دهنده مثبت کاذب است، یعنی پیش‌بینی هایی که در مدل وجود داشته، اما در دنیای واقعی وجود ندارد که به‌عنوان خطای مدل ثبت می‌شود. c نشان‌دهنده منفی کاذب است، یعنی پیش‌بینی‌هایی که در مدل وجود نداشته است ولی در دنیای واقعی وجود دارد و به‌عنوان خطای مدل ثبت می‌شود. d نشان‌دهنده منفی واقعی است، یعنی پیش‌بینی‌هایی که نه در مدل وجود داشته و نه در دنیای واقعی دیده می‌شود و مدل، آن را به‌عنوان عدم حضور ثبت می‌کند (۲۵).

نتایج

رابطه رگرسیونی بین رخداد گونه *B. tomentellus* با متغیرهای اقلیمی و توپوگرافی

رابطه رگرسیونی بین رخداد (حضور و عدم حضور) گونه *B. tomentellus* با متغیرهای اقلیمی و توپوگرافی، به شرح ذیل می‌باشد.

$$P(Br.to)=\frac{EXP(-1.636+0.002Dem+0.009Slop+0.0Aspect+0.803B1+1.001B2-0.046B3-0.033B4+0.46B5+0.548B6-0.975B7-0.048B8+0.354B9+1.054B10-3.373B11+0.005B12-0.049B13+0.33B14+0.029B15+0.009B16-0.088B17+0.017B18)}{1+EXP(-1.636+0.002Dem+0.009Slop+0.0Aspect+0.803B1+1.001B2-0.046B3-0.033B4+0.46B5+0.548B6-0.975B7-0.048B8+0.354B9+1.054B10-3.373B11+0.005B12-0.049B13+0.33B14+0.029B15+0.009B16-0.088B17+0.017B18)}$$

در این ارتباط، با استناد به ضرایب رابطه رگرسیونی بین رخداد گونه با عوامل محیطی؛ مقادیر هر یک از متغیرهای موثر بر گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus*، در جدول ۲ ارائه شده است. برای این منظور، با تبدیل نقشه‌های گستره کنونی و آینده، به نقاط حضور؛ ارزش نقاط حضور، از لایه‌های عوامل محیطی، استخراج و طبقه‌بندی شد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقادیر متغیرهای میانگین دمای سالانه (BIO_1)، دامنه دمای سالانه (BIO_7) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11})، که مرتبط با شاخصه‌های دمایی است؛ با سخت‌تر شدن شرایط اقلیمی، افزایش می‌یابد. مقادیر شاخصه‌های مذکور، در محل‌هایی که تناسب رویشگاه برای پراکنش گونه، مطلوب است (مکان‌هایی با احتمال وقوع بیشتر از ۷۵ درصد)؛ نسبت به مکان‌هایی که تناسب رویشگاه برای گستره گونه مورد پژوهش، نامناسب است؛ کمتر می‌باشد. میانگین دمای سالانه در مکان‌هایی با تناسب مطلوب (مکان‌هایی با احتمال وقوع بیشتر از ۷۵ درصد)؛ طی سه دهه آینده، ۱/۶ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد، افزایش خواهد داشت. در مجموع، هر چه شاخصه‌های دمایی افزایش یابد، تناسب رویشگاه برای حضور گونه در آینده، کمتر خواهد شد.

جدول ۲- دامنه اکولوژیک متغیرهای محیطی موثر بر گستره گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی

Table 2. Ecological range of environmental variables affecting the range of *B. tomentellus* in rangeland habitats

تناسب رویشگاه	گستره کنونی (حال حاضر)			گستره بالقوه آینده (**Rcp4.5**)			گستره بالقوه آینده (**Rcp8.5**)		
	BIO_{11}	BIO_7	BIO_1	BIO_{11}	BIO_7	BIO_1	BIO_{11}	BIO_7	BIO_1
زیاد	-۰/۵	۳۸/۵	۱۰/۹	۱/۱	۳۹/۰	۱۲/۵	۰/۶	۴۰/۱	۱۳/۰
متوسط	۴/۴	۳۷/۹	۱۵/۶	۳/۰	۳۸/۹	۱۴/۳	۲/۵	۴۰/۱	۱۴/۸
کم	۶/۵	۳۸/۰	۱۷/۷	۵/۷	۳۸/۶	۱۵/۷	۴/۱	۳۹/۴	۱۷/۶
نامناسب	۱۱/۹	۳۴/۰	۲۲/۲	۱۱/۹	۳۵/۸	۲۲/۵	۱۱/۳	۳۷/۶	۲۳/۱

مقادیر مرتبط با میانگین شاخص‌های بارندگی و دمای سالانه و ارتفاع رویشگاه گونه *B. tomentellus* در حالت‌های مختلف تناسب رویشگاه (زیاد، متوسط، کم و نامناسب)، تحت سناریوهای مختلفی اقلیمی ($Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$)، در جدول ۳، ارائه شده است. بر مبنای نتایج، ارتفاع رویشگاه‌های مناسب این گونه، ۱۱۵ تا ۱۹۰ متر، بیشتر خواهد شد. با توجه به مقادیر مذکور، می‌توان اظهار داشت که گونه *B. tomentellus* در محدوده ارتفاعی ۲۰۸۱ تا ۲۲۷۲ متری، از احتمال رخداد بیشتری برخوردار است. همچنین دامنه بارش سالیانه، بین ۳۱۴ تا ۳۴۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه، بین ۱۰/۹ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد؛ بهترین شرایط رخداد گونه را در اکوسیستم‌های مرتعی استان اردبیل، نشان می‌دهد.

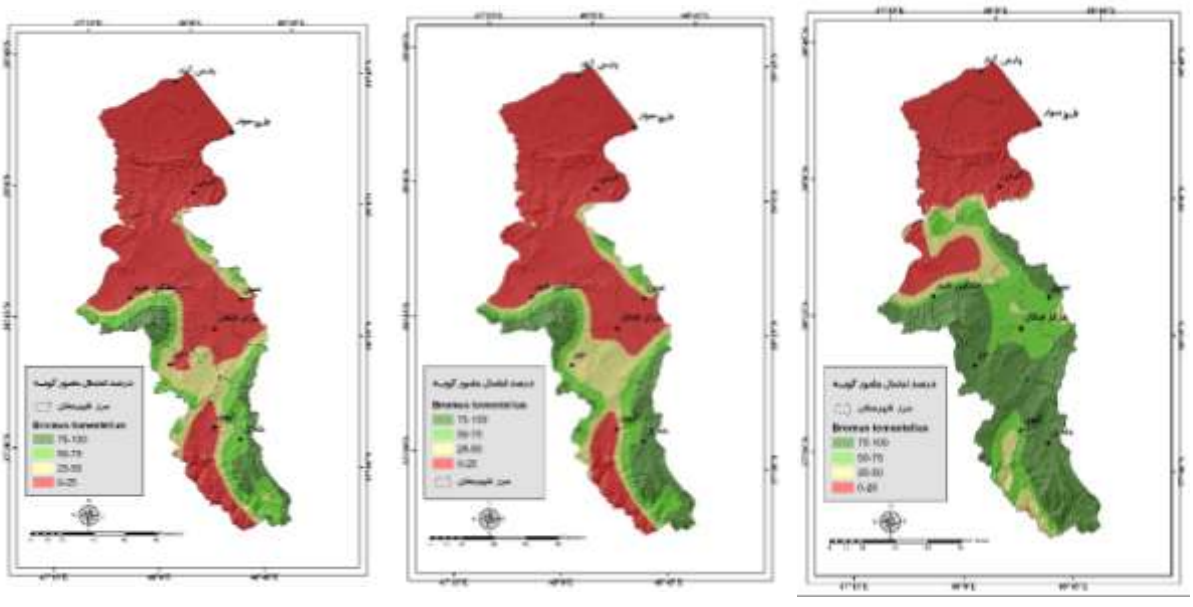
جدول ۳- میانگین شاخص‌های بارندگی و دمای سالانه و ارتفاع رویشگاه گونه *B. tomentellus* تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در طبقات مختلف مطلوبیت رویشگاه

Table 3.Average precipitation indices and annual temperature and habitat height of *B. tomentellus* species under different climate scenarios in different classes of habitat suitability

گستره بالقوه آینده (Rcp8.5)			گستره بالقوه آینده (Rcp4.5)			گستره کنونی (حال حاضر)			تناسب رویشگاه
میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	میانگین دمای سالانه (سانتی گراد)	ارتفاع (متر)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	میانگین دمای سالانه (سانتی گراد)	ارتفاع (متر)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	میانگین دمای سالانه (سانتی گراد)	ارتفاع (متر)	
۳۳۹/۸	۱۳/۰	۲۲۷۱/۹	۳۰۸/۷	۱۲/۵	۲۱۹۶/۲	۳۱۴/۱	۱۰/۹	۲۰۸۱/۴	زیاد
۳۲۸/۳	۱۴/۸	۱۵۰۷/۳	۳۰۰/۲	۱۴/۳	۱۸۵۶/۲	۲۳۱/۶	۱۵/۶	۲۰۵۲/۲	متوسط
۳۰۱/۹	۱۷/۶	۱۱۵۴/۰	۲۶۲/۲	۱۵/۷	۱۵۲۲/۲	۲۱۱/۰	۱۷/۷	۱۸۲۷/۲	کم
۲۱۶/۳	۲۳/۱	۱۰۶۶/۷	۲۳۴/۸	۲۲/۵	۸۱۳/۳	۲۰۳/۵	۲۲/۲	۶۵۷/۵	نامناسب

نقشه پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus*، تحت سناریوهای $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$

نقشه پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus*، تحت سناریوهای $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$، در شکل ۲ ارائه شده است.



الف ب ج

شکل ۲- مطلوبیت نسبی گستره حال حاضر (الف) و گستره آینده گونه *B. tomentellus* برای سال ۲۰۵۰ تحت مدل‌های هشدار اقلیمی $Rcp_{4.5}$ (ب) و $Rcp_{8.5}$ (ج)

Figure 2. The relative desirability of the current range (A) and the future range of *B. tomentellus* species for the year 2050 under the climate warning models Rcp4.5 (B) and Rcp8.5 (C)

مساحت طبقات نقشه پیش‌بینی گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای ملایم‌تر و شدیدتر، در جدول ۴ ارائه شده است. در این ارتباط، سطح رویشگاه مناسب این گونه (احتمال وقوع بیشتر از ۷۵ درصد) با توجه به نقشه پیش‌بینی حال حاضر، ۱۱۵۰۷۱۵/۰ هکتار است که حدود ۶۴/۳ درصد از کل رویشگاه‌های مرتعی در استان اردبیل را به‌خود اختصاص داده است. همچنین سطح رویشگاه مناسب این گونه با توجه به نقشه‌های پیش‌بینی برای سال ۲۰۵۰، تحت دو سناریوی $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$، به‌ترتیب ۱۰۶۵۵۸۷/۰ و ۶۱۰۴۳۵/۴ هکتار است که حدود ۵۹/۵ و ۳۴/۱ درصد از کل رویشگاه‌های مرتعی در استان اردبیل را به‌خود اختصاص داده است. به این ترتیب، تحت سناریوهای اقلیمی، ۳۰/۲ درصد از رویشگاه‌های آب و هوایی مناسب خود را در سال ۲۰۵۰، از دست خواهد داد و رویشگاه‌های نامناسب فعلی نیز، ۲۹/۴ درصد افزایش خواهد یافت. در مجموع؛ مساحت مربوط به طبقاتی که احتمال حضور گونه *B. tomentellus* در آنها بیشتر است، در سال ۲۰۵۰ نسبت به حال حاضر، کاهش خواهد یافت.

جدول ۴- مساحت طبقات نقشه رخداد گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و سال ۲۰۵۰

Table 4. Area of classes of *B. tomentellus* species present map and 2050

گستره بالقوه آینده در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوی Rcp8.5		گستره بالقوه آینده در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوی Rcp4.5		گستره کنونی (حال حاضر)		تناسب رویشگاه	احتمال وقوع گونه (درصد)
درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)		
۳۴/۱	۶۱۰۴۳۵/۴	۵۹/۵	۱۰۶۵۵۸۷/۰	۶۴/۳	۱۱۵۰۷۱۵/۰	زیاد	بیشتر از ۷۵
۱۰/۴	۱۸۶۲۲۲/۰	۱۳/۸	۲۴۶۶۰۶/۲	۱۴/۸	۲۶۴۶۸۶/۷	متوسط	۷۵-۵۰
۱۷/۸	۳۱۸۰۴۷/۲	۱۱/۶	۲۰۷۹۰۰/۷	۱۲/۶	۲۲۵۴۰۳/۹	کم	۵۰-۲۵
۳۷/۷	۶۷۴۹۵۳/۷	۱۵/۱	۲۶۹۴۲۴/۴	۸/۳	۱۷۸۷۵۵/۶	نامناسب	کمتر از ۲۵

بحث و نتیجه‌گیری

گرمایش جهانی ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری اراضی؛ موجب تغییرات آشکاری در اقلیم ایران از جمله افزایش دما، افزایش مخاطرات جوی اقلیمی و کاهش بارش، در دو دهه اخیر شده است (۵). مطالعات انجام شده در زمینه اثر تغییر اقلیم نیز نشان می‌دهد که در دهه‌های آینده، دامنه انتشار گونه‌ها و جوامع گیاهی، کاهش پیدا خواهند کرد (۸، ۲۶). گرایش تغییرات محدوده اکولوژیک آنها، به این صورت است که در سال‌های آینده و تحت تأثیر اقلیم، در عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات بالاتری، شاهد استقرار گونه‌های گیاهی خواهیم بود و احتمال حضور گونه‌ها در ارتفاعات پائین‌تر، کاهش خواهد یافت (۲۷، ۲۸). برای مثال، نتایج حاصل از پیش‌بینی پراکنش گونه *Kelussia odoratissima* تحت سناریوی A_2 طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، بیانگر کاهش رخداد گونهٔ *K. odoratissima* در مناطق کوهستانی زاگرس مرکزی و جابجایی این گونه به سمت مناطق مرتفع است که این جابجایی به‌دلیل کاهش بارندگی سالیانه و افزایش میانگین دما تحت این سناریو است (۲۹). در این ارتباط، نتایج متفاوتی نیز گزارش شده است و بیان می‌گردد که افزایش میانگین درجه حرارت سالانه در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ نسبت به حال حاضر، اثر مثبتی بر حضور برخی از گونه‌های گیاهی خواهد داشت. برای مثال، نتایج مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه *Ferula ovina* در مناطق کوهستانی زاگرس، در حال حاضر و سال‌های آینده با استفاده از مدل افزایش یافته تعمیم یافته، بیانگر آن است که در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، به ازای ثابت ماندن تمامی فاکتورهای

اقلیمی به غیر از میانگین درجه حرارت سالیانه؛ احتمال باقی ماندن گونه *F. ovina*، افزایش یافته و احتمال رخداد آن بیشتر می شود. نتایج منحنی‌های عکس‌العمل نیز نشان داد که با افزایش درجه حرارت سالانه، احتمال حضور گونه *F. ovina*، افزایش می یابد (۳۰). در پژوهش حاضر نیز بر این جنبه از موضوع یعنی تعیین کمیت تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ و بررسی دقیق اثرات آن بر تغییر گستره گونه *B. tomentellus*، تاکید شد که برای اینکار، از ۱۹ متغیر زیست اقلیمی و سه متغیر فیزیوگرافی و مدل رگرسیون لجستیک، تحت دو مدل هشدار اقلیمی (سناریو $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$)، استفاده شد. نتایج آماره کاپا حاصل از ارزیابی مدل، نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک، توان بالایی در پیش‌بینی پراکنش گونه *B. tomentellus*، دارد. همچنین این مدل می‌تواند پراکنش گونه را تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، پیش‌بینی نماید و تفسیر اکولوژیک مکانی از چگونگی پراکنش این گونه تحت شرایط مختلف محیطی، در اختیار کاربران ارائه دهد (۱۶). در پژوهش حاضر، مقدار ضریب آماری کاپا، ۰/۸۵ بدست آمد که با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده از ضرایب کاپا (۳۰)؛ مدل از دقت خوب و قابل قبولی برخوردار است.

بر مبنای نتایج، شاخصه‌های مرتبط با دما نظیر؛ میانگین دمای سالانه (BIO_1)، دامنه دمای سالانه (BIO_7) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11})؛ بیشترین اهمیت را برای تناسب رویشگاه‌های گونه *B. tomentellus*، در حال حاضر و آینده دارند. در این ارتباط، میانگین دمای سالانه در سطوح مناسب رویشگاه (مکان‌هایی با احتمال وقوع بیشتر از ۷۵ در صد)؛ طی سه دهه آینده، ۱/۶ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد، افزایش خواهد داشت. ضمن این‌که، ارتفاع رویشگاه‌های مناسب این گونه، ۱۱۵ تا ۱۹۰ متر، بیشتر خواهد شد و به ارتفاعات بالاتر، مهاجرت خواهد کرد. بر همین اساس، تغییر اقلیم و افزایش درجه حرات، باعث گسترش عمودی گونه *B. tomentellus* و حرکت آن به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی منطقه، خواهد شد. بنابراین، دامنه تغییرات ارتفاع در گستره رویشی گونه *B. tomentellus* که در این پژوهش، از ۱۸۰۰ تا ۳۴۰۰ متر ذکر شده است (۳۲)؛ با فرض وقوع سناریوهای اقلیمی $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$، در آینده به سمت ارتفاع بیشتر، تغییر خواهد یافت. این موضوع، بیانگر آن است که در آینده، کیفیت رویشگاه و به تبع آن، میزان حضور گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی استان اردبیل، کاهش می‌یابد.

در بسیاری از مطالعات، از ۱۹ متغیر اقلیمی ذکر شده (جدول ۱)، به‌عنوان مبنایی برای پایش اثرات تغییر اقلیم بر موجودات (به‌ویژه گونه‌های گیاهی) استفاده شده است. این متغیرها، عمدتاً تحت تأثیر فصل، دما و بارندگی هستند. بنابراین، علیرغم ماهیت اقلیمی خود، از نظر اکولوژیکی نیز مهم هستند (۱۵). با توجه به مقادیر مرتبط با دامنه اکولوژیک متغیرهای محیطی موثر بر گستره گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی، می‌توان اظهار داشت که گونه *B. tomentellus* در محدوده ارتفاعی ۲۰۸۱ تا ۲۲۷۱ متری، از احتمال رخداد بیشتری برخوردار است. همچنین دامنه بارش سالانه، بین ۳۱۴ تا ۳۴۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه، بین ۱۰/۹ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد؛ بهترین شرایط رخداد گونه را در رویشگاه‌های مرتعی استان اردبیل، نشان می‌دهد. این موضوع در شرایطی است که بیشترین احتمال رخداد گونه *B. tomentellus* در منطقه زاگرس مرکزی، محدوده ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر، ذکر شده است. همچنین دامنه بارش سالانه بین ۲۴۰ تا ۲۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد، به‌عنوان بهترین شرایط رخداد گونه مذکور در زاگرس مرکزی، ذکر شده است (۱۳). نتایج حاصل از پژوهش، تا حد زیادی با نتایج مطالعات نیازهای اقلیمی که قبلاً بر روی این گونه انجام شده، مطابقت دارد. در این ارتباط، با بررسی نیازهای اقلیمی گونه *B. tomentellus*، گزارش شد که بارش و دمای فصل سرد، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر این گونه هستند (۳۲). در مطالعه حاضر نیز میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11})، از جمله شاخص‌های موثر بر تناسب رویشگاه می‌باشد.

مساحت طبقات نقشه پیش‌بینی گستره گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و سال ۲۰۵۰، در طبقات مختلف مطلوبیت رویشگاه؛ نشان داد که گستره گونه *B. tomentellus*، در واکنش به تغییرات اقلیمی، کمتر می شود و

تحت سناریوی‌های اقلیمی، ۳۰/۲ در صد از رویشگاه‌های آب و هوایی مناسب خود را در سال ۲۰۵۰، از دست خواهد داد و رویشگاه‌های نامناسب فعلی نیز، ۲۹/۴ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، گونه *B. tomentellus*، در اثر تغییرات اقلیمی، به سمت رویشگاه‌های جنوب شرقی در منطقه خلخال و جنوب غربی در منطقه مشکین و دامنه سبلان که عموماً ارتفاع بیشتری دارند، حرکت خواهد کرد. به‌طور دقیق، می‌توان گفت میانگین ارتفاع مناطقی که گونه در آن حضور داشته، ۲۰۸۱ متر بوده است، اما بر اساس نتایج مدل سازی با رگرسیون لجستیک، این مقدار در سال ۲۰۵۰ (در سناریوی بدبینانه ($Rcp_{8.5}$)، ۲۲۷۲ متر، حاصل شد. نتایج مشابهی نیز در بسیاری از مطالعات، به‌دست آمده است که در آنها، حرکت گونه‌ها تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، قرار گرفته است. در این ارتباط، با بررسی تغییر گستره گونه *B. tomentellus* در واکنش به تغییرات اقلیمی در زاگرس شرقی؛ گزارش شد که گونه *B. tomentellus* در اثر تغییرات اقلیمی، به سمت غرب منطقه که عموماً ارتفاع بیشتری دارد، حرکت کرده است. همچنین بیان گردید، میانگین ارتفاع مناطقی که گونه در آن حضور داشته است، ۲۵۵۰ متر بوده است که این مقدار در سال ۲۰۸۰، تحت سناریوی A_2 به ۲۷۰۰ متر خواهد رسید (۱۳). در این رابطه، گزارش شد که تغییرات اقلیمی، به‌طور متوسط باعث ۱۶۰ متر جابجایی گونه‌های گیاهی و جانوری، در امتداد گرادیان ارتفاعی خواهد شد (۳۳). مطالعه‌ای که بر روی جوامع گیاهی واقع در منطقه جنوب غربی ایالات متحده انجام شد، نشان داد که اکثر جوامع گیاهی در پاسخ به تغییرات اقلیمی، به سمت قطب یا ارتفاعات، منتقل شدند (۳۴). گونه های استنوترمیک که در مکان هایی وجود دارند که نمی‌توانند به ارتفاعات بالاتر حرکت کنند، می‌توانند بیشترین آسیب را در اثر تغییرات اقلیمی متحمل شوند (۳۵). گونه *B. tomentellus* که یک گونه گندمی فصل سرد (گونه سرد سیری) با دامنه اکولوژیکی نسبتاً وسیع است؛ در نتیجه تغییرات اقلیمی، مجبور به تغییر محدوده جغرافیایی خود خواهد شد.

به‌طور کلی، مدل‌های پراکنش گونه‌ای، ابزارهای مفید و مقرون به‌صرفه‌ای به‌منظور استفاده مدیران منابع طبیعی می‌باشند و آگاهی آنها را نسبت به اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌ها، افزایش می‌دهند. نقشه‌های حاصل از مدل‌ها؛ مناطق حساس به تغییر اقلیم و پناهگاه‌های ممکن در آینده گونه‌های منتخب را به‌منظور استفاده در طرح‌های حفاظتی و مرتعی این مناطق، مشخص می‌نمایند. این استراتژی‌ها باید به‌منظور حفاظت این مناطق در برابر تهدیدها و به‌منظور بهبود مقاومت گونه‌های منتخب به تغییر اقلیم، بکار روند تا حضور این گونه‌ها در آینده را تضمین کنند. آنچه مسلم است، نتایج پژوهش حاضر، جوابگوی سئوالات مطرح نظیر این‌که؛ تغییر اقلیم در عرصه‌های مرتعی، تا چه اندازه، در گسترش عمودی (جابجایی از عرض‌های پائین به عرض های بالاتر) و افقی (گسترش در یک محدوده عرض جغرافیایی مشخص) گونه‌ها، موثر می‌باشد؟ و بهبود شرایط رویشگاهی یا تهدید رویشگاهی گونه‌ها را به‌دنبال دارد؟، بوده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، انتظار می‌رود تغییرات بزرگی در پراکنش این گونه همراه با تغییرات اقلیمی، رخ دهد. این تغییرات، به‌گونه‌ای است که می‌تواند شرایط اقلیمی مناسب را برای زندگی این گونه مهم و موثر در رویشگاه‌های مرتعی استان اردبیل، محدود کند. بنابراین، برای بهبود شرایط، حداقل کاری که در چنین شرایطی توصیه شده است، کنترل تخریب رویشگاه گونه *B. tomentellus*، از طریق مدیریت چرای دام و جلوگیری از تغییر کاربری مراتع است. اگر اینکار انجام شود، می‌توان امیدوار بود که تغییرات اقلیمی، به‌خودی خود، نتواند این گونه ارزشمند را بیش از حد، تضعیف یا حتی به‌طور کامل از فلور منطقه، حذف کند و شاید سازگاری‌های فیزیولوژیکی، فنولوژیکی و مورفولوژیکی این گونه، به مبارزه با تغییرات اقلیمی، کمک کند. نکته حائز اهمیت، این‌که، اهمیت نسبی گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های فعلی محل پراکنش آن، طی سه دهه آینده به شدت کم خواهد شد و خطر حذف آنها از اکوسیستم‌ها، کاملا مشهود هست. از این‌رو، ضمن حفاظت آنها در داخل رویشگاه، لازم است برای حفاظت آن در خارج از رویشگاه با رویکرد نزدیک به طبیعت نیز

تدابیری اندیشیده شود. از این‌رو، جمع‌آوری بذور و ذخیره آنها در بانک ژن منابع طبیعی، معرفی اکوتیپ‌های برتر و متحمل به خشکی و دارای صفات ساختاری و عملکردی بهتر و تهیه بذور پر بنیه از آنها، کشت آنها در قطعات کوچک یک هکتاری در قطعات مربوطه در باغ‌های گیاه‌شناسی و کلکسیون‌های گیاهی و نهایتا مرتعکاری آنها در رویشگاه‌های دارای طبقه وضعیت ضعیف و خیلی ضعیف؛ از ملزومات اساسی حفاظت آن در خارج از رویشگاه با رویکرد نزدیک به طبیعت است (۱۳، ۱۸).

تشکر و قدردانی

این مقاله، برگرفته از نتایج پروژه ملی " ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه‌های مهم مرتعی بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم- استان اردبیل" با کد مصوب ۹۸۰۲۷۶-۰۱۵-۰۹-۳۸-۰ می‌باشد که با حمایت مالی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، به انجام رسیده است. از این حیث، از مساعدت آن مجموعه محترم، سپاسگزاری می‌شود.

References

1. IPCC, 2001. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
2. IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Agenda, Vol. 6, No. 333.
3. Warren, R., Van Der Wal, J., Price, J., Welbergen, J.A., Atkinson, I., Ramirez-Villegas, J., 2013. Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. Nature Climate Change, Vol.3, No.7, pp. 678-682.
4. Zwicke, M., Picon-Cochard, C., Morvan-Bertrand, A., Prud'homme, M.P., Volaire, F., 2015. What functional strategies drive drought survival and re-covery of perennial species from upland grassland?. Annals of Botany, Vol.116, pp.1001-1015.
5. Habibi Nokhandan, Majid, Gholami Beriaghdar, Mohamad, Shaemi Barzoki, Akbar, 2010. Climate change and global warming. Climatological Research Institute Press, 136p. (In Persian)
6. Jalili, Adel, 2021. The need to change the approach in managing the country's natural environments Part5 The need to change the approach in range management: Development of rangeland management plans using the ecosystem approach. Journal of Iran Nature, Vol.2, No.6, pp.3-3. (In Persian)
7. Ferrarini, A., Rossi, G., Mondoni, A., Orsenigo, S., 2014. Prediction of climate warming impacts on plant species could be more complex than expected, evidence from a case study in the Himalaya. Ecological Complexity, Vol.20, pp.307-314.
8. Krebs, C.J., 2009. Ecology: The experimental analysis of distribution & abundance. 6th ed. Benjamin Cummings, San Francisco. 655p.
9. Araujo, M.B., Guisan, A., 2006. Five (or so) challenges for species distribution modeling. Journal of Biogeography, Vol.33, pp.1677-88.
10. Lawler, J.J., White, D., Neilson, R.P., Blaustein, A.R., 2006. Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability. Global Change Biology, Vol.12, pp.1568-84.
11. Iverson, L.R., Mckenzie, D., 2013. Tree-species range shifts in a changing climate: detecting, modeling, assisting. Landscape Ecology, Vol. 28, pp. 879-89.

12. Collevatti, R.G., Nabout, J.C., Diniz-Filho, J.A.F., 2011. Range shift and loss of genetic diversity under climate change in Caryocar brasiliense, a Neotropical tree species. Tree Genetics & Genomes, Vol.7, pp.1237-47.
13. Sangoony, H., Vahabi, M., Tarkesh, M., Soltani, S., 2016. Range shift of *Bromus tomentellus* Boiss as a reaction to climate change in Central Zagros, Iran. Applied ecology and environmental research, Vol.14, No.4, pp.85-100.
14. Keith, D.A., Akçakaya, H.R., Thuiller, W., Midgley, G.F., Pearson, R.G., Phillips, S.J., Regan, H.M., Arajo, M.B., Rebelo, T.G., 2008. Predicting extinction risks under climate change: coupling stochastic population models with dynamic bioclimatic habitat models. Biology Letters, Vol.4, pp.560-563.
15. Thuiller, W., Lavorel, S., Arajo, M.B., Sykes, M.T., Prentice, I.C., 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. Proceedings of the National Academy of Sciences of the united States of America, Vol.102, pp.8245-8250.
16. Bazrmanesh, Azadeh, Tarkesh, Mostafa, Bashari, Hossein, Poormanafi, Saeed, 2019. Effect of climate change on the ecological niches of the climate of *Bromus tomentellus* using Maxent in Isfahan province. Journal of Range and Watershed Mangement, Vol.71, No.4, pp.857-867. (In Persian)
17. Khodagholi, Morteza, 2022. Final report of project "Investigating the effect of climate change on habitat of important range species base on climate prediction model in Iran, Farsn province. Publisher: Research Institute of Forests and Rangelands, 112p.
18. Motamedi, Javad, 2022. Final report of project "Investigating the effect of climate change on habitat of important range species base on climate prediction model in Iran, Ghazvin province. Publisher: Research Institute of Forests and Rangelands, 56p.
19. Teimoori Asl, Sara, Naghipoor, Ali Asghar, Ashrafzadeh, Mohammad Reza, Heydarian, Maryam, 2020. Predicting the impact of climate change on potential habitats of *Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr in Central Zagros. Journal of Rangeland, Vol.14, No.3, pp. 526-538. (In Persian)
20. Rechinger, K.H., 1963-1998. Flora iranica. Akademische Druck, Germany.
21. Armaki, M.A., Hashemi, M., Azarnivand, H., 2013. Physiological and morphological responses of three *Bromus* species to drought stress at seedling stage and grown under germinator and greenhouse conditions. African Journal of Plant Science, Vol.7, pp.155-61.
22. Yaghob Zadeh, Mostafa, Poor Reza Belandi, Mohsen, Khashei Syoki, Abas, Rezaei Moghadam, Javad, 2021. Uncertainty of the models of the fifth report on climate change in estimating temperature and precipitation. Journal of Natural Geography, Vol.13, No.51, pp. 21-37.
23. Safaeei, Mojdeh, Tarkesh, Mostafa, Basiri, Mehdi, 2013. Preparation of response curves of yellow species (*Astragalus verus*) to the slope of environmental changes using None Parametric Multiplicative Regression method in Fereydunshahr area of

Isfahan province. Journal of Plant and Ecology, Vol.36, pp.53-64. (In Persian)

24. Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P., Pearson, R.G., 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. Ecography, Vol.28, pp.385-393.
25. Monserud, R.A., Leemans, R., 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. Ecological Modeling, Vol.62, pp.275-293.
26. Tongli, W., Elizabeth, C., 2012. Projecting future distributions of ecosystem climate niches: Uncertainties and management applications. Forest Ecology and Management, Vol.279, pp.128-140.
27. Taylor, M.A., Stephenson T.S., Anthony Chen, A., Stephenson, K.A., 2012. Climate change and the caribbean: Review and response. Caribbean Studies, Vol.40, No.2, pp.169-200.
28. Thomas, L.E., Gerald., S., Rehfeldt, C., Celestino, F., 2010. Projection of suitable habitate for rare species under global warming scenario. American Journal of Botany, Vol.97, No.6, pp.970-987.
29. Abolmaali, Mohammad Reza, Tarkesh Esfahani, Mostafa, Bashri, Hossein, 2017. Assessing impacts of climate change on endangered *Kelossia odoratissima* Mozaff species distribution using Generalized Additive Model. Journal of Natural Environment, Vol.70, No.2, pp.243-254. (In Persian)
30. Qazi Moradi, Mahsa, Tarkash, Mostafa, Bashari, Hossein, Wahhabi, Mohammad Rreza, 2016. Determination of potential habitat of Coma species (*Ferula ovina*) using generalized incremental model (GAM) in Fereydunshahr area of Isfahan province. Journal of Rangeland and Watershed Management, Vol.69, No.3, pp.689-377. (In Persian)
31. Ilunga Nguy, K., Shebitz, D., 2019. Characterizing the spatial distribution of *Eragrostis Curvula* (Weeping Lovegrass) in New Jersey (United States of America) using logistic regression. Environments, Vpl.6, No.125, pp.1-14.
32. Saboohi, Razieh, Khodagholi, Morteza, 2013. Studying the acclimation of *Bromus tomentellus* in Isfahan province. Journal of Applied Ecology, Vol.2, No.4, pp.57-72. (In Persian)
33. Thuiller, W., 2007. Biodiversity: climate change & the ecologist. Nature, Vol.448, No.7153, pp. 550-552.
34. Archer, S.R., Predick, K.I., 2008. Climate change and ecosystems of the southwestern United States. Journal of Rangelands, Vol.30, pp.23-8.
35. Anderson, R.P., 2013. A framework for using niche models to estimate impacts of climate change on species distributions. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol.1297, pp.8-28.