

پیش بینی گستره کنونی و آینده گونه *Bromus tomentellus*

در رویشگاه‌های مرتعی البرز جنوبی، استان قزوین

- ❖ **جواد معتمدی***: دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.
- ❖ **مرتضی خداقلی***: دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

چکیده

تغییرات اقلیمی در دو دهه اخیر، یک موضوع جدی بوده و بسیاری از مطالعات، بر جنبه‌های مختلف آن متمرکز شده‌اند. در پژوهش حاضر، به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Bromus tomentellus* پرداخته شد. برای اینکار، از ۱۹ متغیر زیست اقلیمی و سه متغیر فیزیوگرافی و مدل رگرسیون لجستیک، برای تعیین کمیت تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ و بررسی دقیق اثرات آن بر تغییر گستره گونه *B. tomentellus* استفاده شد. ابتدا با استفاده از ۱۷ ایستگاه سینوپتیک داخل و مجاور استان، پایگاه داده متغیرهای بارش، دمای شبانه، دمای روزانه و متوسط دما، تشکیل و ۱۹ سنجه اقلیمی، محاسبه شد. همچنین با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، با دقت ۳۰ متر؛ متغیرهای فیزیوگرافی شیب، جهت و ارتفاع، تهیه شد. سپس، نقاط حضور و غیاب گونه مشخص شد و با استفاده از رگرسیون لجستیک، رفتار رویشی آن، مشخص و نقشه مدل سازی شده و معادلات مربوطه در شرایط کنونی، محاسبه شد. با استفاده از معادلات فعلی و قرار دادن داده‌های استخراج شده از پایگاه Worldclime؛ نقشه پراکنش آینده، برای سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5، تولید گردید. نتایج نشان داد؛ میانگین دمای سالانه (BIO1)، دامنه دمای سالانه (BIO7) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO11)، 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. به عبارت دیگر، به ارتفاعات بالاتر، مهاجرت خواهد کرد. 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.

کلید واژگان: اکوسیستم‌های مرتعی، تغییر اقلیم، تغییر محدوده گونه‌ها، مدل سازی رویشگاه

۱. مقدمه

اقلیم، به عنوان میانگین بلند مدت آب و هوای یک منطقه، شناخته می‌شود [۱۲]. 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. دومی، به عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود که در دهه‌های اخیر، به شدت، افزایش یافته است [۱۳]. نتایج منفی این تغییرات، منجر به کاهش مقاومت گونه‌های گیاهی و توان ماندگاری آنها و در نتیجه کاهش تنوع زیستی شده است [۳۴، ۳۵]. پیش‌بینی شده است که با افزایش 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 دی‌اکسید کربن نمی‌شوند، بلکه باعث رها شدن دی‌اکسید کربن به داخل جو خواهند شد و تغییر اقلیم را تشدید می‌نمایند [۱۰]. تغییرات مذکور، کاهش چشمگیر پهنه‌های اقلیم مرطوب و افزایش اقلیم خشک و در نتیجه کاهش شدید رطوبت در عرصه‌های طبیعی را حادث شده است [۱۵]. 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 به دنبال داشته است. نهایتاً 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 به تدریج، از بین می‌روند [۹، ۱۸].

مدل‌سازی اکولوژیکی گونه‌ها، از جمله روش‌هایی است که می‌تواند این اثرات را پیش‌بینی کرده و ابعاد آنها را تعیین کند. نتایج به دست آمده از مدل‌سازی، می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مختلف مدیریتی، بسیار مفید باشد [۳]. 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 [۱۹]. از آنجایی که گیاهان نمی‌توانند سریع و جداگانه حرکت کنند؛ به تغییرات محیطی، با تاخیر نسبتاً طولانی، پاسخ می‌دهند. آنها پس از تغییر اقلیم در محیط جغرافیایی، جابجا می‌شوند تا شرایط محیطی را که برای زندگی آنها مناسب‌تر است، بیابند [۱۴].

مطالعات زیادی به بررسی ابعاد و جهت‌گیری این تغییرات، اختصاص یافته است. پس از بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی گونه سنجاقک؛ گزارش شد که تغییرات آب و هوایی، می‌تواند اثرات چشمگیری بر توانایی بیولوژیکی گونه‌ها در رویشگاه آنها داشته باشد [۶]. همچنین 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 [۸]. جهت انجام مطالعه بر روی چندین گونه در اکوتون بین‌گراسلند و بوته‌زار؛ از مدل پوشش گیاهی پویا، برای اندازه‌گیری و پیش‌بینی گستره پراکنش گونه‌ها در نتیجه تغییرات اقلیمی، استفاده گردید [۱۷]. با مقایسه روش‌های مختلف مدل‌سازی، تلاش بر این شد که کارایی مدل‌های پیش‌بینی درجه حرکت گونه‌ها را به دلیل تغییرات اقلیمی، به حداکثر برسانند که در آخر، مطالعات خود را با معرفی مدل‌های فرآیند محور به‌عنوان بهترین مدل‌ها، به پایان رساندند [۲۲].

مطالعات زیادی 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 [۲۷]. 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 [۱۶]. در یکی از بزرگترین مطالعات در مورد تأثیر تغییرات اقلیمی بر بقای گونه‌ها، ۱۳۵۰ گونه گیاهی در اروپا با استفاده از هفت

سطح رویشگاه نامناسب شده، به ترتیب؛ ۱۸/۷ درصد تحت سناریوی Rcp2.6 در سال ۲۰۵۰ و ۴۲/۹ درصد تحت سناریوی Rcp8.5 در سال ۲۰۷۰ خواهد بود. در این رابطه، موثرترین متغیرها در مطلوبیت رویشگاه، به ترتیب؛ میانگین دمای پر بارش‌ترین فصل سال (BIO₈)، تغییرات فصلی بارندگی (BIO₁₅) و شاخص هم‌دمایی (BIO₃)، ذکر شده است [۲۹]. با این وجود، 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 Rcp4.5 و Rcp8.5) و مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0؛ جابجایی آن، در عرض‌های جغرافیایی، در سطح اکوسیستم‌های مرتعی البرز جنوبی (استان قزوین)، مورد بررسی قرار گرفت.

۲. روش شناسی

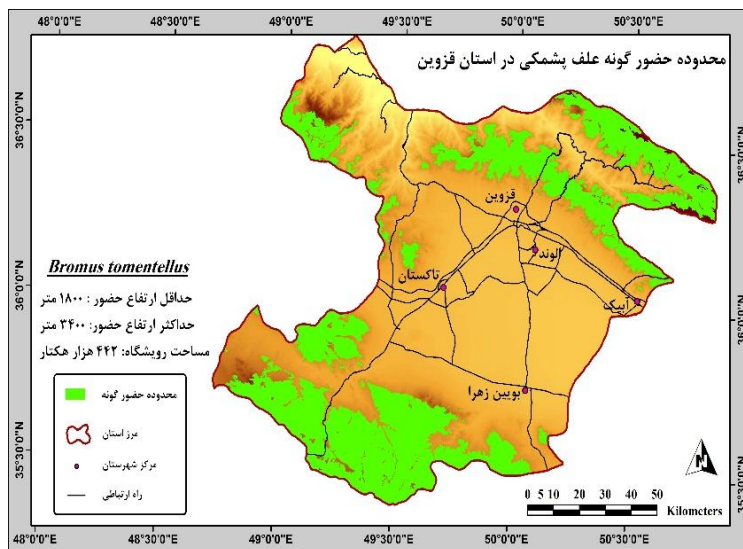
۱.۲. گونه و منطقه مورد مطالعه

گونه *Bromus tomentellus*، متعلق به خانواده گندمیان و زیر خانواده پوئیده (Pooideae) 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 [۲۴] آنرا گونه‌ای نیمه استپی تا استپی، توصیف می‌کند که عموماً 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 [۵]. در استان قزوین (بخشی از منطقه البرز مرکزی)، این گونه از ارتفاع ۱۸۰۰-۳۴۰۰ متری در رویشگاه‌های نیمه استپی، یافت می‌شود. میزان بارندگی رویشگاه‌های آن ۲۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر است که می‌تواند با توجه به میکرو اقلیم، تغییر کند. مساحت

سناریو تغییر اقلیم، مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که تغییرات اقلیمی، می‌تواند تهدیدی برای تنوع زیستی گیاهی در اروپا باشد [۳۱]. 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 به دلیل 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 (BIO₁₂)، میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (BIO₈)، میانگین دمای روزانه (BIO₂) و دمای فصلی (BIO₄)، به‌عنوان شاخصه‌های موثر بر تناسب رویشگاه، ذکر شده است [۲۷]. همچنین با بررسی اثر تغییر اقلیم بر آشیان اکولوژی یک 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 ۱۰-۳۰ 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 می‌شود [۷]. نتایج مرتبط با پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه *Stipa hohenackeriana* در منطقه زاگرس مرکزی برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوهای Rcp2.6، Rcp4.5، Rcp6 و Rcp8.5 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

مشاهده می‌شود؛ امکان حضور در ۲۸ درصد از سطح رویشگاه‌های مرتعی را دارد (شکل ۱).

محدوده حضور آن در رویشگاه‌های منطقه، ۴۴۲ هزار هکتار می‌باشد که با استناد به دامنه ارتفاعی که در آن



شکل ۱. محدوده حضور گونه *Bromus tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی البرز جنوبی، استان قزوین
رنگ قهوه‌ای در پس زمینه نقشه، بیانگر ارتفاع رویشگاه‌ها می‌باشد که با افزایش تراکم رنگ از قهوه‌ای روشن به قهوه‌ای تیره، ارتفاع رویشگاه بیشتر می‌شود.

مختصات جغرافیایی حضور این گونه در البرز جنوبی، در فصل رویش سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام شد.

۳.۲. اطلاعات محیطی در محل رخداد گونه

B. tomentellus

به منظور ترسیم لایه اطلاعات محیطی ۱۹ بایو اقلیمی (جدول ۱) برای حال حاضر؛ از داده‌های ۱۷ ایستگاه سینوپتیک استان قزوین 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 RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آتی به دست آمد. همچنین نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع، با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی، 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.

۲.۲. نقاط رخداد (حضور و عدم حضور)

B. tomentellus

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 ver10.5 نقشه‌ها اصلاح گردید و نقشه حضور فعلی گونه، نهایی شد. در مجموع، تعداد ۱۸۵ نقطه، به عنوان 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

جدول ۱. متغیرهای اقلیمی بکار گرفته شده برای پیش‌بینی پراکنش گونه *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 $(BIO_2/BIO_7) \times 100$	۱۳	BIO ₁₃	بارندگی مرطوب‌ترین ماه
۴	BIO ₄	دمای فصلی (انحراف معیار $\times 100$)	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
۱۰	BIO ₁₀	میانگین دمای گرم‌ترین فصل			

۴.۲. پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه

B. tomentellus

به منظور پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه *B. tomentellus*، از رگرسیون لجستیک (روابط ۱ و ۲) استفاده شد. به این صورت 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 RCP4.5 و RCP8.5 استفاده گردید. این روش در نرم‌افزار Ver24 SPSS اجرا و نتایج آن با استفاده از ArcGIS Ver10.5 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 به صورت 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 [۲۷].

$$p = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$z = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + \dots + B_nx_n \quad \text{رابطه ۲}$$

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 [۲۶].

برای محاسبه ضریب آماری کاپا در نرم‌افزار SPSS Ver24، 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 مشاهده شده (نقشه پراکنش فعلی) و فراوانی مورد انتظار (نقشه پیش‌بینی)، با استفاده از آماره کاپا است [۲۰، ۲۱].

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

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 (BIO₁)، دامنه دمای سالانه (BIO₇) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO₁₁)، 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. برای مثال، میانگین دمای سالانه در مکان‌های مطلوب رویشگاه (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.

که در آن؛ a نشان‌دهنده مثبت حقیقی، یعنی پیش‌بینی‌هایی که هم در مدل وجود دارد و هم در دنیای واقعی، دیده می‌شوند و مدل، آنها را به‌عنوان حضور، ثبت می‌کند. b نشان‌دهنده مثبت کاذب است، یعنی پیش‌بینی‌هایی 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 [۲۱].

۳. نتایج

۱.۳. دامنه اکولوژیک متغیرهای محیطی موثر بر

گستره کنونی و آینده

در این ارتباط، با استناد به ضرایب رابطه رگرسیون بین رخداد گونه با عوامل محیطی؛ مقادیر هر یک از

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

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

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 رویشگاه‌های البرز جنوبی، نشان می‌دهد.

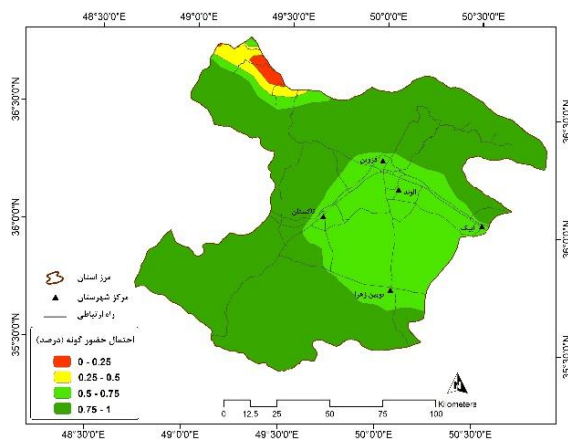
مقادیر مرتبط با میانگین شاخص‌های بارندگی و دمای سالانه و ارتفاع رویشگاه گونه *B. tomentellus* در حالت‌های مختلف تناسب رویشگاه (زیاد، متوسط، کم و نامناسب)، تحت سناریوهای مختلفی اقلیمی (Rcp4.5 و Rcp8.5)، در جدول ۳، ارائه شده است. بر مبنای نتایج، ارتفاع رویشگاه‌های مناسب این گونه، ۱۱۵ تا ۱۹۰ متر، بیشتر خواهد شد. با توجه به مقادیر مذکور، می‌توان اظهار

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

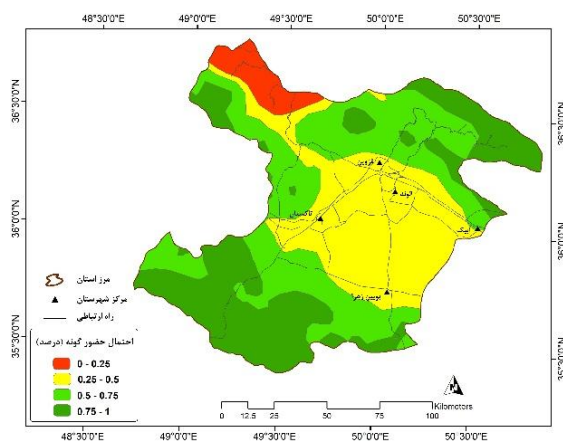
تناسب رویشگاه	گستره کنونی (حال حاضر)			گستره بالقوه آینده (Rcp4.5)			گستره بالقوه آینده (Rcp8.5)		
	ارتفاع (متر)	میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	ارتفاع (متر)	میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	ارتفاع (متر)	میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد)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

۲.۳. نقشه پیش‌بینی گستره کنونی و آینده *B. tomentellus*، تحت سناریوهای (Rcp4.5 و Rcp8.5)، در شکل‌های ۲ الی ۴ ارائه شده است.

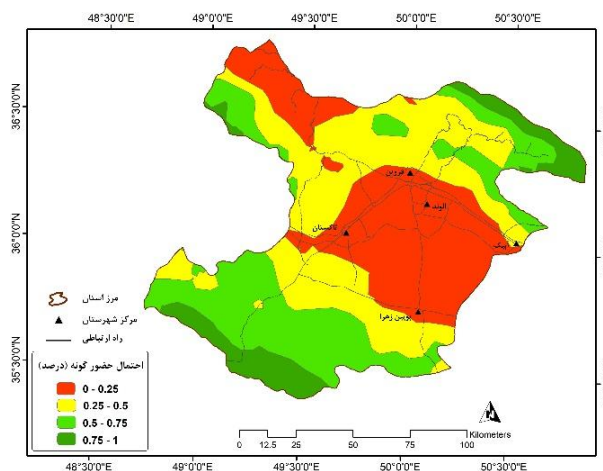
نقشه پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه



شکل ۲. مطلوبیت نسبی گستره حال حاضر گونه *B. tomentellus*



شکل ۳. مطلوبیت نسبی گستره آینده گونه *B. tomentellus* برای سال ۲۰۵۰ تحت مدل هشدار اقلیمی Rcp4.5



شکل ۴. مطلوبیت نسبی گستره آینده گونه *B. tomentellus* برای سال ۲۰۵۰ تحت مدل هشدار اقلیمی Rcp8.5

۴۵۸۷۶۶ و ۱۳۸۴۲۰ هکتار است که حدود ۳۰ و ۹ درصد از کل رویشگاه‌های مرتعی را به خود اختصاص داده است. به این ترتیب، 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؛ مساحت مربوط به طبقاتی که احتمال حضور گونه *B. tomentellus* در آنها بیشتر است، در سال ۲۰۵۰ نسبت به حال حاضر، کاهش خواهد یافت.

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، ۱۰۸۰۸۱۱ هکتار است که حدود ۶۹ درصد از کل رویشگاه‌های مرتعی در البرز جنوبی (استان قزوین) را به خود اختصاص داده است. همچنین سطح رویشگاه مناسب این گونه با توجه به نقشه‌های پیش‌بینی برای سال ۲۰۵۰، تحت دو سناریوی Rcp4.5 و Rcp8.5، به ترتیب

جدول ۴. مساحت طبقات نقشه پیش‌بینی گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و سال ۲۰۵۰ در طبقات مختلف مطلوبیت رویشگاه

احتمال وقوع گونه (درصد)	تناسب رویشگاه	گستره کنونی (حال حاضر)		گستره آینده در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوی Rcp4.5		گستره آینده در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوی Rcp8.5	
		مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
بیشتر از ۷۵	زیاد	۱۰۸۰۸۱۱	۶۹	۴۵۸۷۶۶	۳۰	۱۳۸۴۲۰	۹
۵۰-۷۵	متوسط	۴۳۶۲۷۹	۲۸	۵۳۵۰۵۰	۳۴	۴۱۱۵۴۸	۲۶
۲۵-۵۰	کم	۲۹۱۸۰	۲	۴۸۷۸۰۲	۳۱	۵۳۰۴۹۲	۳۴
کمتر از ۲۵	نامناسب	۱۱۴۸۲	۱	۷۳۱۳۴	۵	۴۷۷۲۹۳	۳۱

۴. بحث

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 [۱۰]. 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 [۱۸، ۳۳]. 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 [۲۸]. به عبارت دیگر، آشیان اکولوژیک این گونه‌ها در سال‌های آتی، به سمت مناطق مرتفع‌تر، پیش خواهد رفت و در ارتفاعات پائین، گستره پراکنش جغرافیایی گونه‌ها و جوامع گیاهی، محدودتر می‌شود [۳۰]. برای مثال، نتایج حاصل از پیش‌بینی پراکنش گونه *Kelussia odoratissima* تحت سناریوی A₂ طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، بیانگر کاهش رخداد گونه *K. odoratissima* در مناطق کوهستانی زاگرس مرکزی و جابجایی این گونه به سمت مناطق مرتفع است که این جابجایی به دلیل کاهش بارندگی سالیانه و افزایش میانگین دما تحت این سناریو است [۱]. 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 به عبارت دیگر، احتمال رخداد

آن بیشتر می‌شود. نتایج منحنی‌های عکس‌العمل نیز نشان داد که با افزایش درجه حرارت سالانه، احتمال حضور گونه *F. ovina*، افزایش می‌یابد [۲۳]. 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 Rcp4.5 و Rcp8.5)، 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 [۷]. در پژوهش حاضر، مقدار ضریب آماری کاپا، ۰/۸۵ به دست آمد که با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده از ضرایب کاپا [۱۱]؛ مدل از دقت خوب و قابل قبولی برخوردار است.

بر مبنای نتایج، شاخصه‌های دمایی نظیر؛ میانگین دمای سالانه (BIO₁)، دامنه دمای سالانه (BIO₇) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO₁₁)؛ بیشترین اهمیت را برای تناسب رویشگاه گونه *B. tomentellus* در البرز مرکزی دارند. به تفسیر دیگر، از بین متغیرهای اقلیمی، تنها شاخصه‌های مرتبط با دما، بر پراکنش گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و آینده، موثر خواهند بود. در این ارتباط، میانگین دمای سالانه در سطوح مناسب رویشگاه (مکان‌هایی با احتمال وقوع بیشتر از ۷۵ درصد)؛ 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 عبارت دیگر، به ارتفاعات بالاتر، مهاجرت خواهد کرد. بر همین اساس، تغییر اقلیم و افزایش درجه حرارت، باعث گسترش عمودی گونه *B. tomentellus* و حرکت آن به سمت

مؤثر بر این گونه هستند [۲۵]. در مطالعه حاضر نیز میانگین دمای سردترین فصل (BIO₁₁), از جمله شاخص‌های مؤثر 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 می‌شود و 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. همچنین نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، گونه *B. tomentellus*، در اثر تغییرات اقلیمی، به سمت رویشگاه‌های شمال غربی و جنوب غربی 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 مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک، این مقدار در سال ۲۰۵۰ (در سناریوی بدبینانه (Rcp8.5)، 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 A₂ به ۲۷۰۰ متر خواهد رسید [۲۷]. در مقاله‌ای که در نشریه نیچر منتشر شده است، گزارش شد که تغییرات اقلیمی، به‌طور متوسط باعث ۱۶۰ متر جابجایی گونه‌های گیاهی و جانوری، در امتداد گرادیان ارتفاعی خواهد شد [۳۲]. مطالعه‌ای که بر روی جوامع گیاهی واقع در منطقه جنوب غربی ایالات متحده انجام شد، نشان داد که اکثر جوامع

عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی منطقه، شده است. بنابراین، دامنه تغییرات ارتفاع در گستره رویشی گونه *B. tomentellus* که در این تحقیق از ۱۸۰۰ تا ۳۴۰۰ متر ذکر شده است [۲۵] با فرض وقوع سناریوهای اقلیمی Rcp_{8.5} و Rcp_{4.5}، 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 البرز جنوبی، کاهش می‌یابد. در بسیاری از مطالعات، از ۱۹ متغیر اقلیمی ذکر شده در 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 [۳۱].

با توجه به مقادیر مرتبط با دامنه اکولوژیک متغیرهای محیطی مؤثر بر گستره گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی (جدول ۴)، 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 البرز جنوبی، 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 [۲۷]. نتایج حاصل از پژوهش، تا حد زیادی با نتایج مطالعات آت اکولوژیکی که قبلاً بر روی این گونه انجام شده، تا آنجا که به تعیین نیازهای اقلیمی مرتبط می‌شود، مطابقت دارد. به‌عنوان مثال، با بررسی نیازهای اقلیمی گونه *B. tomentellus*، گزارش شد که بارش و دمای فصل سرد، مهم‌ترین عوامل

که می‌تواند شرایط اقلیمی مناسب را برای زندگی این گونه مهم و موثر در رویشگاه‌های مرتعی البرز جنوبی، 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 [۲۷]. اگر اینکار انجام شود، می‌توان امیدوار بود که تغییرات اقلیمی، به‌خودی‌خود، 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، کاملاً 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 نهایتاً 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.

گیاهی در پاسخ به تغییرات اقلیمی، به سمت قطب یا ارتفاعات، منتقل شدند [۴]. گونه‌های استنوترمیک که در مکان‌هایی وجود دارند که نمی‌توانند به ارتفاعات بالاتر حرکت کنند، می‌توانند بیشترین آسیب را در اثر تغییرات اقلیمی متحمل شوند [۲]. گونه *B. tomentellus* که یک گونه گندمی فصل سرد (گونه سردسیری) 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 به صرفه‌ای 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 مطرح‌شده؛ تغییر اقلیم در عرصه‌های مرتعی، تا چه اندازه، در گسترش عمودی و افقی 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

References

- [1] Abolmaali, S.M.R., Tarkesh Esfahani, M. and Bashri, H. (2017). Assessing impacts of climate change on endangered *Kelossia odoratissima* Mozaff species distribution using Generalized Additive Model. *Journal of Natural Environment*, 70(2): 243-254.
- [2] 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* 1297:8-28.

- [3] Araujo, M.B. and Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modeling. *Journal of Biogeography*, 33:1677-88.
- [4] Archer, S. R., Predick, K. I. (2008): Climate change and ecosystems of the southwestern United States. - *Rangelands* 30:23-8.
- [5] 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*, 7:155-61.
- [6] Attorre, F., Francesconi, F., Taleb, N., Scholte, P., Saed, A., Alfo, M. and Bruno, F. (2007). Will dragonblood survive the next period of climate change? Current and future potential distribution of *Dracaena cinnabari* (Socotra, Yemen). *Biological Conservation*, 138:430-9.
- [7] Bazrmanesh, A., Tarkesh, M., Bashari, H. and Poormanafi, S. (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*, 71(4): 857-867.
- [8] Collevatti, R.G., Nabout, J.C. and 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*, 7:1237-47.
- [9] Ferrarini, A., Rossi, G., Mondoni, A. and Orsenigo, S. (2014). Prediction of climate warming impacts on plant species could be more complex than expected, evidence from a case study in the Himalaya. *Ecological Complexity*, 20: 307-314.
- [10] Habibi Nokhandan, M., Gholami Beriaghdar, M. and Shaemi Barzoki, A. (2010). Climate chane and global warming. *Climatological Research Institute Press*, 136p.
- [11] Ilunga Nguy, K. and Shebitz, D. (2019). Characterizing the spatial distribution of *Eragrostis Curvula* (Weeping Lovegrass) in New Jersey (United States of America) using logistic regression. *Environments*, 6 (125): 1-14.
- [12] 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.
- [13] IPCC (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Agenda*, 6:333.
- [14] Iverson, L.R. and Mckenzie, D. (2013). Tree-species range shifts in a changing climate: detecting, modeling, assisting. *Landscape Ecology*, 28:879-89.
- [15] Jalili, A. (2021). The need to change the approach in managing the country's natural environments Part 5 The need to change the approach in range management: Development of rangeland management plans using the ecosystem approach. *Journal of Iran Nature*, 6(2): 3-3.
- [16] Keith, D.A., Akçakaya, H.R., Thuiller, W., Midgley, G.F., Pearson, R.G., Phillips, S.J., Regan, H.M., Arajo, M.B. and Rebelo, T.G. (2008). Predicting extinction risks under climate change: coupling stochastic population models with dynamic bioclimatic habitat models. *Biology Letters*, 4:560-563.
- [17] King, D.A., Bachelet, D.M. and Symstad, A.J. (2013). Climate change and fire effects on a prairie-woodland ecotone: projecting species range shifts with a dynamic global vegetation model. *Ecology and Evolution*, 3:5076-5097.
- [18] Krebs, C.J. (2009). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance.* 6th ed. Benjamin Cummings, San Francisco. 655p.
- [19] Lawler, J.J., White, D., Neilson, R.P. and Blaustein, A.R. (2006). Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability. *Global Change Biology*, 12: 1568-1584.

- [20] Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P. and Pearson, R.G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28: 385-393.
- [21] Monserud, R.A. and Leemans, R. (1992). Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modeling*, 62: 275-293.
- [22] Morin, X. and Thuiller, W. (2009). Comparing niche-and process-based models to reduce prediction uncertainty in species range shifts under climate change. *Ecology*, 90:1301-1313.
- [23] Qazi Moradi, M. and Ebrahimi, A.A. (2020). Modeling the potential habitat of *Ferula ovina* now and in the coming years using a generalized incremental model (Case study: Fereydunshahr, Isfahan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(2); 321-333.
- [24] Rechinger, K.H. (1963-1998). *Flora iranica*. Akademische Druck, Germany.
- [25] Saboohi, R. and Khodaghali, M. (2013). Studying the acclimation of *Bromus tomentellus* in Isfahan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2(4): 57-72.
- [26] Safaei, M., Tarkesh Esfahani, M. and Basiri, M. (2013). Preparation of response curves of yellow species (*Astragalus verus*) to the slope of environmental changes using Non Parametric Multiplicative Regression method in Fereydunshahr area of Isfahan province. *Journal of Plant and Ecology*, 36: 53-64.
- [27] Sangoony, H., Vahabi, M., Tarkesh, M. and Soltani, S. (2016). Range shift of *Bromus tomentellus* Boiss. as a reaction to climate change in Central Zagros, Iran. *Applied ecology and environmental research*, 14(4): 85-100.
- [28] Taylor, M.A., Stephenson T.S., Anthony Chen, A. and Stephenson, K.A. (2012). Climate change and the caribbean: Review and response. *Caribbean Studies*, 40 (2): 169-200.
- [29] Teimoori Asl, S., Naghipoor, A.A., Ashrafzadeh, M.R. and Heydarian, M. (2020). Predicting the impact of climate change on potential habitats of *Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr in Central Zagros. *Journal of Rangeland*, 14(3): 526-538.
- [30] Thomas, L.E., Gerald, S., Rehfeldt C. and Celestino, F. (2010). Projection of suitable habitats for rare species under global warming scenario. *American Journal of Botany*, 97 (6): 970-987.
- [31] Thuiller, W., Lavorel, S., Arajo, M.B., Sykes, M.T. and 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*, 102:8245-8250.
- [32] Thuiller, W. (2007): Biodiversity: climate change and the ecologist. - *Nature* 448:550-2.
- [33] Tongli, W. and Elizabeth, C. (2012). Projecting future distributions of ecosystem climate niches: Uncertainties and management applications. *Forest Ecology and Management*, 279: 128-140.
- [34] Warren, R., Van Der Wal, J., Price, J., Welbergen, J.A., Atkinson, I. and Ramirez-Villegas, J. (2013). Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 3 (7): 678-682.
- [35] Zwicke, M., Picon-Cochard, C., Morvan-Bertrand, A., Prud'homme, M.P. and Volaire, F. (2015). What functional strategies drive drought survival and re-recovery of perennial species from upland grassland? *Annals of Botany*, 116:1001-1015.

Prediction of current and future range of *Bromus tomentellus* in southern Alborz rangeland habitats, Qazvin province

- ❖ **J. Motamedi***; Associate Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- ❖ **M. Khodagholi**; Associate Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Abstract

Climate change has been a serious issue in the last two decades, and many studies have focused on its various aspects. In the present study, the effect of climate change on the distribution of *Bromus tomentellus* was investigated. To do this, 19 bioclimatic variables and three physiographic variables and logistic regression model were used to quantify climate change in 2050 and to study its effects on the change of *B. tomentellus* species. First, using 17 synoptic stations in and near the province, a database of precipitation variables, night temperature, daily temperature and average temperature was formed and 19 climatic measures were calculated. Also using the digital model of height, with an accuracy of 30 meters; physiographic variables of slope, direction and height were prepared. Then, the presence and absence points of the species were determined and using logistic regression, its vegetative behavior was determined and the modeled map and related equations in the current conditions were calculated. Using current equations and inserting data extracted from the Worldclime database; the future distribution map for 2050 was generated under RCP_{4.5} and RCP_{8.5} climate scenarios. The results showed; the average annual temperature (BIO₁), the annual temperature range (BIO₇) and the average temperature of the coldest season (BIO₁₁) are the most important for habitat fit, the values of which increase with increasing climatic conditions. Average annual temperature in places with a probability of more than 75%; over the next three decades, it will rise by 1.6 to 1.2 degrees Celsius. The height of suitable habitats will be 115 to 190 meters. In other words, it will migrate to higher altitudes. As a result, its habitat level decreases in response to climate change. Also, under climate scenarios, 30% of suitable habitat habitats will be lost by 2050, and current unsuitable habitats will increase by 35%. overall; climate change and increasing temperature characteristics will cause *B. tomentellus* to move to higher latitudes along the altitude gradient. Hence, over the next three decades, the danger of its removal from the southern Alborz ecosystems will be evident.

Keywords: Rangeland ecosystems, Climate change, Range shift of species, Habitat modeling.