

## اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه *Bromus tomentellus* Boiss. در زاگرس جنوبی بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم

مرتضی خداقلی<sup>۱\*</sup>، راضیه صبحی<sup>۲</sup>، مینا بیات<sup>۳</sup>، پروانه عشوری<sup>۴</sup> و جواد معتمدی<sup>۵</sup>

۱- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: m\_khodagholi@yahoo.com

۲- دکترای علوم مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۳- کارشناس ارشد پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۵- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

### چکیده

شناخت عوامل محیطی مؤثر در استقرار پوشش گیاهی، می‌تواند به مدیریت صحیح اکوسیستم‌های مرتعی کمک کند. رویشگاه مطلوب، تأثیر به‌سزایی بر بقا و تولیدمثل گونه‌ها دارد. با پیشرفت علم آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پیش‌بینی رویشگاه گونه‌های گیاهی با استفاده از روش‌های مدل‌سازی، میسر شده است. از این رو، این پژوهش با هدف تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه‌های گونه *B. tomentellus* بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیمی، در زاگرس جنوبی (استان فارس) انجام شد. ابتدا با استفاده از ۲۹ ایستگاه سینوتیک داخل و مناطق مجاور، پایگاه داده‌ها شامل 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، سه متغیر فیزیوگرافی شامل شیب، جهت و ارتفاع تهیه گردید. سپس با استفاده از نقشه‌های بهنگام شده طرح شناخت مناطق اکولوژیک و بازدیدهای میدانی، نقاط حضور و غیاب گونه *B. tomentellus* مشخص شد. با استفاده از رگرسیون لجستیک، رفتار رویش این گونه در منطقه زاگرس جنوبی 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 گونه *B. tomentellus* برای سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 تولید گردید. نتایج نشان داد که گونه *B. tomentellus* تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب برابر 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 RCP4.5 و ۱/۷ درصد تحت سناریو بدبینانه (RCP8.5)، در سال ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رگرسیون لجستیک، سناریو اقلیمی، مدل پراکنش گونه‌ای.

## مقدمه

اکوسیستم‌های مرتعی به‌علت تنوع محصولات و خدمات از جمله تولید علوفه برای چرای دام‌های اهلی و حیات وحش، تنوع گونه‌های گیاهی و تنظیم جریان آب و کیفیت آنها، دارای اهمیت به‌سزایی هستند. این اکوسیستم‌ها نسبت به تغییرات عوامل محیطی حساس هستند. از آنجایی که گیاهان و حیوانات این اکوسیستم‌ها در مرز تنش‌های حرارتی و آبی قرار دارند، تغییرات اندک دما و رژیم بارندگی یا تغییر در تکرار و مقدار حدهای نهایی وقایع اقلیمی، می‌تواند به‌طور اساسی ترکیب، توزیع و پراکنش گونه‌های گیاهی و همچنین تولید آنها را کاهش دهد (Heshmati and Karimian, 2014). همچنین پراکنش هر گونه گیاهی در محدوده‌های جغرافیایی خاصی، امکان‌پذیر است. زیرا گیاهان، نیازهای محیطی ویژه‌ای دارند که اگر قرار باشد در یک منطقه معین رشد و تولیدمثل کنند، باید این احتیاجات تأمین شود. در طول قرن گذشته، میانگین دمای جهانی، حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC, 2001) و این افزایش دما بر گونه‌های گیاهی و جانوری اثر زیان‌باری داشته است (Parmesan and Yohe, 2003). نتایج بررسی‌های Khodaghali و همکاران (۲۰۲۲)، نشان می‌دهد که به‌طور متوسط دمای میانگین سالانه، حدود ۰/۴ به ازای دهه افزایش یافته است. به‌طورکلی، تغییر اقلیم یک نگرانی عمده برای مدیریت و حفاظت تنوع زیستی است. زیرا جنبه‌های مختلف زیستی گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با وجود نگرانی‌های موجود در ارتباط با اثرهای تغییر اقلیم بر روی گونه‌های گیاهی و جانوری، در حال حاضر اطلاعات زیادی در ارتباط با تأثیر تغییر اقلیم آینده بر روی تغییرات اقلیم آینده، ضروری است که توزیع کنونی و آینده گونه‌ها مشخص شود (Beaumont et al., 2005). مدل‌سازی توزیع گونه‌ها در حال حاضر، تنها وسیله‌ای است که می‌توان به کمک آن، ارزیابی مقدار تغییرات توزیع گونه‌های متعدد را در پاسخ به تغییرات آب و هوایی انجام داد (Williams et al., 2009). نتایج مطالعاتی که در راستای موضوع مقاله در سطح جهانی و ملی انجام شده، در ادامه ارائه شده است. Motamedi

و همکاران (۲۰۲۲) اثر تغییر اقلیم بر گونه *Artemisia aucheri*. Boiss. را تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در استان قزوین برای سال ۲۰۵۰ بررسی کردند. نتایج آنان، حکایت از این دارد که تغییر اقلیم باعث تغییر زیادی در رویشگاه گونه درمنه کوهی می‌شود، به‌طوری‌که مساحت رویشگاه در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب با کاهش در حدود ۲۸ و ۵۵ درصد مواجه خواهد شد. Sangoni و همکاران (۲۰۱۷)، پراکنش مکانی گونه *B. tomentellus* در زاگرس مرکزی را بر اساس مدل گردش عمومی HadCM3 در دو مقطع زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، در دو سناریوی A1B و A2 بررسی کردند. نتایج مدل نهایی نشان داد که ۵۱ درصد کاهش رویشگاه در محدوده متناسب اقلیمی (بر مبنای سناریوی A1B) در سال ۲۰۸۰ خواهد داشت. Borna و همکاران (۲۰۱۶)، پیش‌بینی الگوی پراکنش رویشگاه گونه *Artemisia aucheri* را با استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی (Ecological Niche Factor Analysis; ENFA)، در مراتع بیلاقی بلده نور، بررسی کردند. با استناد به مقادیر شاخص‌های حاشیه‌گرایی (۰/۸۵)، تخصص‌گرایی (۲/۳۹) و تحمل‌پذیری (۰/۴۱) به‌دست آمده از نرم‌افزار بیومپر (Biomapper)؛ اینگونه گزارش شد که درمنه کوهی، تمایل زیادی به زندگی در رویشگاه‌های بسیار حاشیه‌ای و خاص در منطقه مورد مطالعه دارد. مقدار تخصص‌گرایی بالاتر از یک، نشان‌دهنده آن است که گونه درمنه به دامنه محدودی از شرایط محیط‌زیستی منطقه وابسته است و در استفاده از منابع رویشگاه، به‌طور اختصاصی عمل می‌کند. میزان کم شاخص تحمل‌پذیری گونه، نشان می‌دهد که گونه درمنه کوهی، تا حد زیادی، یک گونه تخصص‌گرا در محدوده رویشگاهی خود است. در این ارتباط، Khajeddin و Yeganeh (۲۰۱۱) گزارش کردند که گونه درمنه کوهی، بر خلاف درمنه دشتی، دامنه بوم‌شناسی محدودی دارد. Abolmaali و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش *Daphne mucronata* Royle را در مراتع استان اصفهان توسط مدل حداکثر آنتروپی بررسی کردند. پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی (A2a/HadCM3) نشان داد که تا سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، گونه *D. mucronata* در مکان‌های

نزولات جوی در استان فارس، به گونه‌ای است که از سمت شمال و شمال غرب به سمت شمال شرق از میزان بارش کاسته می‌شود؛ به طوری که بیشترین بارش در شمال غرب به میزان ۶۴۰ میلی‌متر و کمترین بارش در شمال شرق به میزان ۱۰۰ میلی‌متر ثبت شده است. در این راستا، متوسط وزنی بارش در سطح استان برابر ۳۱۴ میلی‌متر است.

### معرفی گونه *B. tomentellus*

گونه *B. tomentellus* از گندمیان علوفه‌ای بسیار مرغوب با شکل رویشی دسته‌ای پرپشت و فصل رشد سرد است که انتشار گسترده‌ای در کشور دارد. در این گیاه، برگ‌ها در پائین ساقه تجمع یافته و روی خاک را به خوبی می‌پوشانند. به علاوه ریشه کلافی و بسیار قوی آن موجب مقاومت بسیار زیاد آن نسبت به چرای سنگین و حفظ خاک به ویژه در شیب‌های تند می‌شود. این گیاه با دیرزیستی طولانی، به سرما، یخبندان و خشکی مقاوم است، حتی در سال‌های بسیار خشک تجدید حیات طبیعی آن به سهولت انجام می‌شود. گونه *B. tomentellus* با وجود دوره رویشی نسبتاً کوتاه، خوشخوراکی زیادی برای انواع گروه‌های دام دارد و به چرای سنگین بسیار مقاوم است. این گیاه، از بهترین گندمیان کوهستانی برای اصلاح و توسعه مراتع است (Asri, 2011).

### روش بررسی

نقاط رخداد (حضور و عدم حضور) گونه *B. tomentellus* در ابتدا، با استفاده از نقشه بهنگام شده تیپ‌های گیاهی طرح شناخت مناطق اکولوژیک استان فارس (Khodaghali et al., 2017)، 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 مؤسسه آب و خاک، کاربری‌هایی غیر از کاربری مرتع از پلی‌گون‌ها حذف گردید و در محیط ArcGIS ver10.5 نقشه‌ها اصلاح و نقشه حضور

زیر ۲۰۰۰ متر ناپدید می‌شود و در ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا، بدون تغییر باقی می‌ماند و در سایت‌های واقع در ۲۰۰۰-۳۰۰۰ متری از سطح، دچار تغییر شدید می‌شود. برای این منظور، روش‌ها و مدل‌های بسیاری توسعه یافته است. مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی، به عنوان پیش‌بینی پراکنش بالقوه یک گونه گیاهی در سراسر چشم‌انداز، بر اساس ارتباط بین نقاط رخداد گونه گیاهی و متغیرهای محیطی مؤثر تعریف می‌شود و بر اساس این فرضیه است که عوامل محیطی، پراکنش گونه گیاهی را کنترل می‌کنند (Guisan and Zimmermann, 2000). مدل‌های پیش‌بینی کننده رویشگاه، تناسب رویشگاه را برای استقرار گونه های گیاهی و جانوری مشخص می‌کنند و به مدیران منابع طبیعی کمک می‌کند تا با اختصاص زمان و هزینه کمتر، به شناسایی عوامل تهدیدکننده جمعیت‌ها، تعیین عامل‌های مهم در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی، بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، رویشگاه‌های مطلوب گونه‌های گیاهی و جانوری و ... بپردازند (Jafarian et al., 2012). با وجود این، 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 این رو، در این پژوهش، با تهیه نقشه رخداد پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus* تحت دو مدل هشدار اقلیمی (سناریو Rcp4.5 و Rcp8.5)؛ جایجایی آن در عرض‌های جغرافیایی، در سطح اکوسیستم‌های مرتعی زاگرس جنوبی (استان فارس) بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان فارس تقریباً در جنوب ایران قرار دارد. این استان، به طور تقریبی بین مدارهای ۲۷ و ۳۱ درجه شمال و نصف‌النهارهای ۵۰ و ۵۵ درجه طول شرقی واقع شده است. مساحت استان فارس، ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع می‌باشد و تقریباً ۷/۴ درصد مساحت کشور را تشکیل می‌دهد. میزان

فعلی گونه نهایی شد.

WorldClim.org که یکی از سایت‌های تولید داده گزارش پنجم است، با دقت ۳۰ ثانیه استفاده شد. این داده‌ها برای دو سناریو RCP<sub>4.5</sub> و RCP<sub>8.5</sub> برای دوره آینده به دست آمد. همچنین نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع به عنوان ورودی داده‌های محیطی با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی، با دقت ۳۰ متر در محیط ArcGIS ترسیم شد.

**B. tomentellus** در محل رخداد گونه اطلاعات محیطی در محلی ترسیم لایه اطلاعات محیطی ۱۹ بایو اقلیمی (جدول ۱)، از داده‌های ۲۹ ایستگاه سینوپتیک استان فارس و مناطق مجاور استان استفاده شد. همچنین برای محاسبه بایوهای اقلیمی آینده (سال ۲۰۵۰)، از سایت

جدول ۱- متغیرهای اقلیمی استفاده شده در فرایند مدل‌سازی

Table1- Climatic variables used in the modeling process

تعریف Description	BIO	تعریف Description	BIO
دمای حداقل - حداکثر ماهانه (سانتیگراد)	BIO <sub>2</sub>	میانگین دمای سالانه (سانتیگراد)	BIO <sub>1</sub>
دمای فصلی (انحراف معیار × ۱۰۰)	BIO <sub>4</sub>	هم‌دمایی × ۱۰۰ (BIO <sub>2</sub> /BIO <sub>7</sub> )	BIO <sub>3</sub>
حداقل دمای سردترین ماه	BIO <sub>6</sub>	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	BIO <sub>5</sub>
میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	BIO <sub>8</sub>	دامنه دمای سالانه (BIO <sub>5</sub> -BIO <sub>6</sub> )	BIO <sub>7</sub>
میانگین دمای گرم‌ترین فصل	BIO <sub>10</sub>	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	BIO <sub>9</sub>
بارندگی ماهانه	BIO <sub>12</sub>	میانگین دمای سردترین فصل	BIO <sub>11</sub>
بارندگی خشک‌ترین ماه	BIO <sub>14</sub>	بارندگی مرطوب‌ترین ماه	BIO <sub>13</sub>
بارندگی مرطوب‌ترین فصل	BIO <sub>16</sub>	بارندگی فصلی (ضریب تغییرات)	BIO <sub>15</sub>
بارندگی گرم‌ترین فصل	BIO <sub>18</sub>	بارندگی خشک‌ترین فصل	BIO <sub>17</sub>
در بایوهای ۱۹ گانه واحد دما درجه سانتی‌گراد و بارش میلی‌متر است.		بارندگی سردترین فصل	BIO <sub>19</sub>

نرم‌افزار SPSS Ver24 اجرا و نتایج آن با استفاده از ArcGIS Ver10.5 تبدیل به نقشه می‌شود.

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

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

در روابط ذکر شده، z رابطه چند متغیری خطی حاصل شده از تابع Logit است که همان متغیر وابسته یا پاسخ می‌باشد، B<sub>i</sub> نشان‌دهنده ضرایب مدل رگرسیون و X<sub>i</sub> متغیرهای مستقل محیطی است.

پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه **B. tomentellus**

برای پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه **B. tomentellus** از رگرسیون لجستیک (رابطه ۱) استفاده شد. به این صورت که متغیرهای محیطی در مدل رگرسیون لجستیک، به عنوان متغیرهای پیش‌گو (مستقل) و حضور و عدم حضور گونه، به عنوان متغیرهای پاسخ (وابسته) وارد و رفتار رویشی گونه مورد بررسی در شرایط فعلی، محاسبه و رابطه مربوطه تعیین گردید. از این رابطه، برای پیش‌بینی رویشگاه در سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0 تحت سناریو RCP<sub>4.5</sub> و RCP<sub>8.5</sub> استفاده شد. این روش در

## نتایج

نقشه رویشگاه بالقوه گونه *Br. tomentellus*

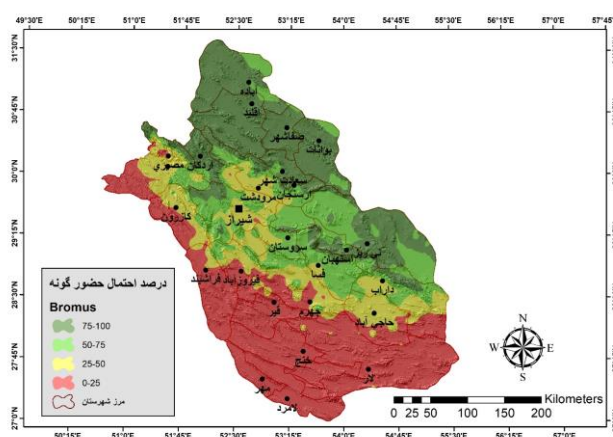
نقشه پراکنش فعلی (شکل ۱) گونه *Br. tomentellus* نشان می‌دهد که در بخش‌های شمالی و شرق استان، این گونه ۷۵-۱۰۰ درصد مشاهده می‌شود و در مناطق جنوبی، این گونه حضور ندارد. نقشه تولید شده، در چهار کلاس

نشان داد که تقریباً در ۲۷ درصد استان، احتمال رخداد این گونه ۱۰۰-۷۵ درصد است که برابر ۳۲۸۵۲۴۵ هکتار می‌باشد (جدول ۲). در این ارتباط، مقدار ضریب آماری کاپا ۰/۸۵ به دست آمد که با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده از ضرایب کاپا (Ilunga Nguy and Shebitz, 2019)، مدل از دقت خوب و قابل قبولی برخوردار است.

جدول ۲- درصد احتمال حضور کلاس‌های مختلف رویشگاه *Br. tomentellus*

Table 2- Percentage of presence of different classes of *Br. tomentellus* habitat

درصد از کل Percent of total	مساحت (هکتار) Area (hectares)	طبقات رویشگاه (درصد) Habitat classes (%)
26.80	3285245	75-100
19.75	2421508	50-75
16.92	2074734	25-50
36.53	4478963	0-25



شکل ۱- نقشه پراکنش فعلی گونه *Br. tomentellus*

Figure 1- Current distribution map of *Br. tomentellus*

می‌دهد که حضور گونه با احتمال حضور ۷۵-۱۰۰ درصد فقط به صورت چند لکه در شمال استان بوده که این مناطق در حدود ۱/۷۲ درصد استان را شامل می‌شود. این گونه در سناریو بدبینانه (RCP8.5) در سال ۲۰۵۰، عمدتاً در مناطق مرتفع بیش از ۲۵۰۰ مشاهده می‌شود و بیشترین درصد فراوانی مربوط به طبقه ۲۵ (بسیار نامناسب) است که از ۳۶/۵۳ به حدود ۸۱ درصد می‌رسد. البته مناطقی عمدتاً با

پیش‌بینی پراکنش گونه *Br. tomentellus* در سال ۲۰۵۰ نقشه‌های حاصل از پیش‌بینی مدل رگرسیون لجستیک، نشان می‌دهد که تحت سناریوی RCP4.5، گونه *Br. tomentellus* در مناطق صفاشهر، اردکان و اقلید کماکان حضور دارد (شکل ۲). مطابق با جدول ۲، احتمال حضور ۷۵-۱۰۰ درصد در ۸/۹۶ درصد استان مشاهده می‌شود. نتایج پیش‌بینی رویشگاه برای سناریو RCP8.5، نشان

بررسی شد. گونه *B. tomentellus* در حال حاضر در ارتفاع ۲۶۰۰-۱۷۰۰ متر قرار گرفته است، در حالی که در سناریو RCP4.5 (شرایط متعادل) در ارتفاع ۲۹۰۰-۱۸۷۰ متر و در سناریو RCP8.5 (سناریو بدبینانه)، در ارتفاع ۳۰۰۰-۲۰۰۰ متر، احتمال وقوع دارد.

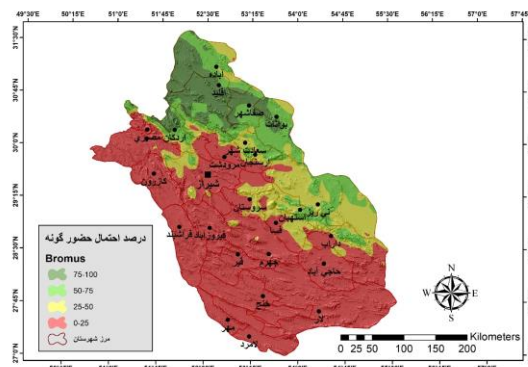
ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر، چنین شرایطی دارند (شکل ۳ و جدول ۴).

با انطباق اطلاعات ارتفاعی منطقه (DEM) با نقشه‌های حضور گونه در شرایط فعلی و تحت سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه در سال ۲۰۵۰، تغییرات ارتفاعی و مهاجرت گونه

جدول ۳- درصد مساحت کلاس‌های رویشگاه *Br. tomentellus* در سناریو RCP4.5

Table 3- Percentage of *Br. tomentellus* habitat area in scenario 4.5

درصد از کل Percent of total	مساحت (هکتار) Area (hectares)	طبقات رویشگاه (درصد) Habitat classes (%)
8.96	1098700	75-100
13.77	1687671	50-75
15.66	1919914	25-50
61.61	7554165	0-25



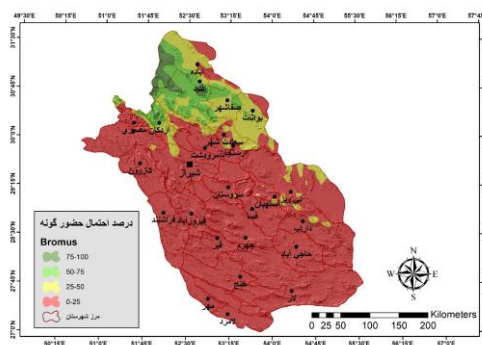
شکل ۲- نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه *Br. tomentellus* با استفاده از سناریو RCP4.5

Figure 2 - Prediction map of *Br. tomentellus* species habitat using 4.5 scenario

جدول ۴- درصد مساحت کلاس‌های رویشگاه *Br. tomentellus* در سناریو RCP8.5

Table 4- Percentage of *Br. tomentellus* habitat classrooms in scenario 8.5

درصد از کل Percent of total	مساحت (هکتار) Area (hectares)	طبقات رویشگاه (درصد) Habitat classes (%)
1.72	210477	75-100
6.24	765542	50-75
11.26	1380581	25-50
80.78	9903851	0-25



شکل ۳- نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه *Br. tomentellus* با استفاده از سناریو RCP8.5  
Figure 3 - Prediction map of *Br. tomentellus* species habitat using scenario 8.5

### بحث

تغییر اقلیم، یکی از مهمترین چالش‌های جامعه جهانی در قرن بیست و یکم می‌باشد. گستردگی، سرعت، شدت و عمق اثرگذاری آن به نحوی است که تغییر اقلیم به عنوان یکی از موضوعات مهم پژوهشی در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی، مورد توجه جدی قرار گرفته است. از سویی، مراتع به عنوان بزرگترین اکوسیستم طبیعی خشکی‌های جهان، نقش بارزی در حفاظت آب و خاک، ذخیره ژنتیکی، ترسیب کربن، تعدیل آب و هوا و در نهایت تعلیف دام دارند. تغییر اقلیم اگرچه بر تمام بخش‌ها و اکوسیستم‌ها تأثیر دارد ولی به نظر می‌رسد اکوسیستم‌های طبیعی مناطق خشک که همیشه با آستانه‌های تنش‌های محیطی مواجه‌اند؛ تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، بیشترین تأثیر منفی را بر آشیان اکولوژیکی و رویشگاه گونه‌های مرتعی دارد. پانل بین‌المللی تغییر اقلیم، پیش‌بینی کرده است که تا سال ۲۱۰۰ میانگین جهانی دمای سطح زمین بین ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. با افزایش از ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد انتظار می‌رود که تقریباً ۲۰ تا ۳۰ درصد از گونه‌های گیاهی و حیوانی در خطر انقراض قرار گیرند و اثرهای نامطلوبی بر امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه خواهد داشت (FAO, 2007).

نتایج آشکارسازی تغییرات پارامترهای اقلیمی، بیانگر آن است که تغییرات اقلیمی در ایران از ابتدای قرن ۲۱ عملاً شروع شده است (Khodaghali et al., 2022). بنابراین

ضرورت دارد که رویشگاه بالقوه گونه‌های شاخص، در حال حاضر و سال‌های آینده، با استفاده از مدل‌های ریاضی و سناریوهای اقلیمی مشخص شود. در این ارتباط، باید بررسی شود که آیا افزایش دمای حادث شده در سطح کشور، اثر مثبت بر حضور گونه‌ها در رویشگاه‌های محل پراکنش خواهد داشت یا اثر منفی؟ (Motamedi et al., 2022). برای این منظور، گستره کنونی (حال حاضر) و گستره بالقوه آینده گونه‌های *Br. tomentellus* و برای سه دهه آینده (سال ۲۰۵۰)، تحت دو مدل هشدار اقلیمی سناریوی ملایم‌تر و سناریوی شدیدتر (سناریو Rcp4.5 و Rcp8.5) با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک پیش‌بینی شد. نقشه‌های خروجی نیز با احتمال رخداد بین صفر تا یک، به چهار طبقه رویشگاه نامناسب (۰-۰/۲۵)، رویشگاه تقریباً مناسب (۰/۵-۰/۲۵)، رویشگاه با تناسب بالا (۰/۷۵-۰/۵) و رویشگاه با تناسب خیلی بالا (۰/۷۵-۱) گروه‌بندی شد.

مطالعات انجام شده در زمینه اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها و جوامع گیاهی، نشان می‌دهد که در دهه‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، دامنه انتشار همه گونه‌ها و جوامع گیاهی به مقدار زیادی کاهش پیدا خواهد کرد (Elizabeth, 2012). گرایش تغییرات محدوده اکولوژیک آنها، به این صورت است که در سال‌های آینده و تحت تأثیر اقلیم، در ارتفاعات بالاتری شاهد استقرار گونه‌های گیاهی خواهیم بود و احتمال حضور گونه‌ها در ارتفاعات پائین‌تر

برخوردار است و در رویشگاه‌هایی با ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۲۶۰۰ متری از سطح دریا گسترش دارد. بر مبنای نتایج حاصل، ارتفاع محل پراکنش این گونه، تحت سناریوهای اقلیمی تا سال ۲۰۵۰، تغییر زیادی خواهد کرد. به گونه‌ای که تحت سناریو RCP4.5 (شرایط متعادل) به ارتفاع ۲۹۰۰-۱۸۷۰ متر و تحت سناریو RCP8.5 (سناریو بدبینانه)، به ارتفاع ۱۹۶۰-۳۰۰۰ متر خواهد رسید. بنابراین در سناریو متعادل و بدبینانه، به ترتیب ۱۷۰ و ۲۶۰ متر رویشگاه این گونه به ارتفاع بالاتر، جابه‌جا خواهد شد. در این ارتباط، Thuiller (۲۰۰۷) یکی از مهمترین اثرهای تغییر اقلیم را جابجایی محدوده جغرافیایی گونه‌های گیاهی می‌داند. وی بیان می‌کند که به‌طور میانگین هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما، باعث حرکت گونه‌های نیمکره شمالی به میزان ۱۶۰ کیلومتر به سمت قطب یا ۱۶۰ متر به سمت ارتفاعات خواهد شد. همچنین Kavousi و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر عقب‌نشینی یخچالی بر پراکنندگی و جابجایی گونه‌های گیاهی در یخچال خرسان رشته کوه البرز مرکزی، گزارش کردند که سطح یخچال خرسان، از سال ۱۳۷۰ کاهش یافته و این کاهش چشمگیر، منجر به تغییرات اکولوژیکی زیادی شده است. حذف گونه‌ها در نزدیکی یخچال، جابجایی گیاهان مختلف از منطقه تحت آلپ به منطقه آلی و نیوال، از جمله تغییرات قابل توجهی است که در طول عقب‌نشینی یخچال‌های طبیعی رخ داده است. تعداد زیادی از مطالعات انجام شده در منطقه یخچال خرسان از دو قرن اخیر، حکایت از حذف کامل شش گونه گیاهی دارد. جابجایی ۱۶ گونه گیاهی در سال‌های اخیر، نشان داد که این گونه‌ها پس از عقب‌نشینی، یا مکان جدیدی برای استقرار پیدا کردند یا حذف شدند. علاوه بر تغییرات طبیعی، یخبندان نیز تحت تأثیر تحولات ساخته دست بشر قرار گرفت. شاید شرایط جدید، بسیاری از گونه‌های گیاهی را در سطح حفاظتی قرار دهد که نیاز به برنامه‌های مراقبتی مناسب دارد. در این مطالعه از مدل مقیاس‌پذیری چند بعدی، برای نشان دادن نواحی نیوال که گونه‌ها در آنها تحت فشار زیادی هستند، استفاده شده است. برای توصیف چنین

کاهش خواهد یافت (Taylor et al., 2012). به عبارت دیگر، آشیان اکولوژیک این گونه‌ها در سال‌های آینده، به سمت مناطق مرتفع‌تر، پیش خواهد رفت و در ارتفاعات پائین، گستره پراکنش جغرافیایی گونه‌ها و جوامع گیاهی محدودتر می‌شود (Teimoori et al., 2020). برای نمونه، نتایج حاصل از پیش‌بینی پراکنش گونه *Kelussia odoratissima* تحت سناریوهای اقلیمی طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، بیانگر کاهش رخداد گونه *K.odoratissima* در مناطق کوهستانی زاگرس شرقی 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 (Abolmaali et al., 2017). در این ارتباط، نتایج متفاوتی نیز گزارش شده است و بیان می‌شود 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 (Qazi Moradi et al., 2016). برای نمونه، نتایج مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه *Ferula ovina* در مناطق کوهستانی زاگرس، در حال حاضر و سال‌های آینده، نشان داد 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 (Qazi Moradi et al., 2016). نتایج منحنی‌های واکنش نیز بیانگر آن است که با افزایش درجه حرارت سالانه، احتمال حضور این گونه‌ها افزایش می‌یابد.

گونه *B. tomentellus* پراکنش وسیعی در مناطق شمالی، شمال‌غرب، شمال‌شرق، غرب و مرکز کشور دارد و به‌طور کلی در دامنه ارتفاعی ۱۲۰۰-۳۶۰۰ متر حضور دارد و همانگونه که در قبل ذکر شد، با دیرزیستی طولانی؛ به سرما، یخبندان و خشکی مقاوم است و حتی در سال‌های بسیار خشک تجدید حیات طبیعی آن به سهولت انجام می‌شود (Asri, 2011). این گونه در رویشگاه‌های زاگرس جنوبی (استان فارس) نیز از دامنه اکولوژیکی نسبتاً وسیعی



مثبت نشان می‌دهد. نظر به اینکه مدل‌های پیش‌بینی، عمدتاً بر مبنای داده‌های حضور و عدم حضور تمرکز دارند و شاخص‌های ساختاری پوشش گیاهی، در مدل‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیرد؛ اینگونه خطاها در تفسیرها، حادث خواهد شد و ممکن است تلقی شود که برداشت‌های واقعی با مدل‌های پیش‌بینی مطابقت ندارند. از این‌رو، لازم است در پژوهش‌های بعدی، علاوه بر حضور و عدم حضور گونه‌ها، بر شاخص‌های ساختاری پوشش گیاهی، به‌عنوان متغیرهای ورودی در مدل‌ها تمرکز گردد.

مدل‌های پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی می‌توانند روابط حاکم بر توزیع جغرافیایی یک گونه خاص را با محیط فعلی آنها مشخص کنند و علاوه بر تعیین مهمترین فاکتورهای تأثیرگذار بر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، امکان بررسی منحنی‌های واکنش گونه‌ها به شرایط محیطی، تعیین دامنه‌های بهینه رشد و حضور گونه نسبت به هر عامل محیطی و تهیه نقشه پراکنش مکانی گونه مورد نظر برای حال حاضر و در دوره‌های آینده را ممکن نمایند. در این ارتباط، با تبدیل نقشه‌های گستره کنونی و آینده (شکل‌های ۱ تا ۳) به نقاط حضور، ارزش نقاط حضور، از لایه‌های عوامل محیطی، قابل استخراج و طبقه‌بندی است که بر مبنای آن می‌توان دامنه اکولوژیک متغیرهای محیطی مؤثر بر گستره گونه *Bromus tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی مورد پژوهش را بدست آورد.

از آنجایی که مدل‌های پیش‌بینی کننده پراکنش گونه‌ها، می‌توانند مکان‌های بالقوه مناسب را برای پراکنش گونه‌ها پیش‌بینی کنند؛ بنابراین نقش مهمی را در تعیین مناطق مستعد برای اصلاح و احیاء رویشگاه‌های مرتعی ایفا می‌کنند (Pejhan, 2013). به‌طورکلی، مدل‌های پراکنش گونه‌ای، ابزارهای مفید و مقرون به‌صرفه‌ای برای استفاده مدیران منابع طبیعی هستند و آگاهی آنها را نسبت به اثرهای تغییر اقلیم بر گونه‌ها افزایش می‌دهند. این موضوع، در شرایطی است که ضرورت دارد در مدل‌های پیش‌بینی، علاوه بر مقادیر حضور و عدم حضور، از شاخص‌های ساختاری پوشش گیاهی مانند درصد پوشش تاجی، تراکم، فراوانی، اهمیت

تغییراتی، سعی شده است شواهد مناسب ارائه شود. مشاهده شده است که طی ۴۰ سال، گونه‌ها رفتار مختلفی نشان می‌دهند، بعضی از گونه‌ها حدود ۲۰۰ متر ارتفاعی جابجا شده‌اند و بعضی تا ۷۳۰ متر، با ذوب شدن یخچال‌ها به ارتفاعات مهاجرت کرده‌اند.

با توجه به تغییرات ناچیز رویشگاه گونه *B. tomentellus* از نظر عرض جغرافیایی؛ بیشترین جابه‌جایی رویشگاه در نیمرخ ارتفاعی منطقه دیده می‌شود. این تغییرات و جابه‌جایی گونه‌های گیاهی، از پایین با از دست دادن سطح و در مناطق بالادست، با افزایش رویشگاه اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه به‌طور معمول مساحت مناطق با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد، بنابراین اگرچه رویشگاه یک گونه از پایین کاهش و از بالا افزایش می‌یابد ولی برآیند آن باعث کاهش مساحت رویشگاه می‌شود. در مورد گونه *B. tomentellus* از وسعت آن به‌ویژه در سناریو بدبینانه کاسته شده و محدود به مناطق حاشیه شمال‌غربی استان شده است. مساحت مناطق مطلوب و بسیار مطلوب برای رویش این گونه، با کاهش بیش از ۸۰ درصدی در سال ۲۰۵۰ مواجه خواهد شد. نتایج Abolmaali (۲۰۱۸) که بر روی گونه *Daphne mucronata* در منطقه فریدون‌شهر در غرب استان اصفهان تحقیق کرده نیز نشان می‌دهد این گونه به مناطق مرتفع‌تر مهاجرت می‌کند و رویشگاه این گونه با کاهش حدود ۸۰ درصدی در سال ۲۰۸۰ مواجه خواهد شد. نتایج Sangoni (۲۰۱۷) نیز نشان می‌دهد که گونه *B. tomentellus* تا سال ۲۰۸۰ بیش از ۵۰ درصد از سطح رویشگاه‌هایش کاسته شده و به ارتفاعات بالاتر مهاجرت خواهد کرد.

Eftekhari (۲۰۰۶) در بررسی آتاکولوژی گونه *B. tomentellus* در استان اصفهان، نشان داد که این گونه در مناطق دشتی تراکم بیشتری دارد و جمعیت یکنواخت‌تری ایجاد می‌کند. در حالی که نتایج این پژوهش، نشان می‌دهد با افزایش دما و کاهش بارش ناشی از تغییر اقلیم، این گونه بیشترین وسعت را در ارتفاعات بالاتر دارد. به‌عبارت دیگر، این گونه به درجه حرارت پایین‌تر و بارش بیشتر، واکنش

- Engineering and Natural Resources, 46: 1-38 (In Persian).
- 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.
  - IPCC. 2001. Climate Change 2001. Synthesis Report, A Contribution of Working Groups. I, II and III to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Watson and the Core Writing Team (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
  - Jafarian, Z., Arzani, H., Jafari, M., Zahedi, Q. and Azarnivand, H., 2012. Preparation of spatial prediction map of plant species using Logistic regression (Case study: Rineh Rangelands, Damavand Mountain). *Natural Geography Research*, 44 (1): 1-18 (In Persian).
  - Kavousi, K., Nejadstari, T., Asri, Y., Ejtehadi, H. and Khavari-Nejad, R.A., 2016. Effect of glacial retreat on floral distribution and / or displacement in Khersan Glacier, Central Alborz mountain range, Iran. *Ambient Science*, 3(2): 75-79.
  - Khajeddin, S.J. and Yeganeh, H., 2011. Investigating the relationship between plant species and physiographic and climatic factors in hunting prohibited Karkas area. *Journal of Rangeland*, 4 (3): 380-391 (In Persian).
  - Khodaghali, M., Fayaz, M., Shirani, K., Feyzi, M.T. and Yazdani, M., 2017. Recognition of ecological regions of the country. Plant types of Fars province. Research Institute of Forests and Rangelands. 332pp, (In Persian).
  - Khodaghali, M., Saboohi, R., Ashoori, P., Zare, N., Borhani, M., Bayat, M., Khodahami, Q and Jaberolansar, Z., 2022. Investigating the effect of climate change on habitat of important rang species base on climate prediction model in Fars povince. Final report, Research Institute of Forests and Rangelands, (In Persian).
  - Krebs, C.J., 2009. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. 6<sup>th</sup> ed. Benjamin Cummings, San Francisco. 655p.
  - Motamedi, J., Khodaghali, M. and Khalifezadeh, R., 2022. Prediction of current and future potential range of *Artemisia Aucheri* under two climate warning models (Rcp4.5 and Rcp8.5) in southern Alborz rangeland habitats, Qazvin province. *Journal of Environmental Science Studies*, 2: 5015-5023.
  - Pejhan, A., 2013. Effects of climate change on spatial distribution of *Artemisia sieberi* species in Isfahan

نسبی، تولید و ... نیز به عنوان متغیرهای ورودی به مدل‌ها استفاده شود.

نقشه‌های حاصل از مدل‌ها، مناطق حساس به تغییر اقلیم و پناهگاه‌های ممکن در آینده گونه‌های منتخب را به منظور استفاده در طرح‌های حفاظتی و مرتعی این مناطق، مشخص می‌کنند. این راهبردها، باید به منظور حفاظت این مناطق در برابر تهدیدها و برای بهبود مقاومت گونه‌های منتخب به تغییر اقلیم بکار روند تا حضور این گونه‌ها را در آینده تضمین کنند.

### منابع مورد استفاده

- 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.
- Abolmaali, S.M.R., Tarkesh, M. and Bashari, H., 2018. MaxEnt modeling for predicting suitable habitats and identifying the effects of climate change on a threatened species, *Daphne mucronata*, in central Iran. *Ecological Informatics*, 43: 116-123 (In Persian).
- Asri, y., 2011. Range plants of Iran. Research Institute of Forest and Rangelands press, 573p.
- Borna, F., Tamartash, R. Tatian, M.R. and Gholami, V., 2016. Modeling of white alfalfa potential habitat using ecological nest factor analysis and logistic regression methods (Case study: Baladeh Noor summer rangelands). *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 4 (7): 45-61.
- Eftekhari, M., 2006. Ecological study of *Bromus tomentellus* in Isfahan province. Research plan of Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, 91 p (In Persian).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. 2007. Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: perspective, framework and priorities. FAO, Rome. 32pp.
- Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2): 147-186.
- Heshmati, Q.A. and Karimian, V., 2014. Predicting the richness distribution of rangeland species using environmental variables using species distribution models (SDM). *Quarterly Journal of Agricultural*

- and Stephenson, K.A., 2012. Climate change and the caribbean: Review and response. *Caribbean Studies*, 40 (2): 169-200.
- Teimoori, S., Naghipoor, 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 (In Persian).
  - Thuiller, W., 2007. Biodiversity: climate change and the ecologist. *Nature*, 448 (550-552).
  - Tongli, W. and Elizabeth, C., 2012. Projecting future distributions of ecosystem climate niches: Uncertainties and management applications. *Forest Ecology and Management*, 279: 128-140.
  - Williams, J.N., Seo., C.W., Thorne., J., Nelson., J.K., Erwin., S., O'Brien., J.M. and Schwartz., M.W., 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Diversity and Distributions*, 15: 565-576.
  - province using species distribution prediction models (Case study: Isfahan province). Master Thesis. Isfahan University of Technology, 119p (In Persian).
  - Qazi Moradi, M., Tarkash Esfahani, M., Bashari, H. and Wahhabi, M.R., 2016. Determination of potential habitat of Coma species (*Festuca ovina*) using generalized incremental model (GAM) in Fereydunshahr area of Isfahan province. *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 69 (3): 689-377 (In Persian).
  - Sangoni, H., Vahabi, M.R., Tarkesh, M., Eshghizadeh, H.R. and Soltani, S., 2017. Determining the climatic characteristics of the ecosystem and the geographical distribution of two rangeland species using stochastic forest modeling in the Central Zagros region. *Journal of Plant Ecology*, 10: 1-18 (In Persian).
  - Taylor, M.A., Stephenson, T.S., Anthony Chen, A.

## Effects of climate change on the habitat of *Bromus tomentellus* Boiss in south Zagros based on climate prediction model

M. Khodagholi <sup>1\*</sup>, R. Saboohi <sup>2</sup>, M. Bayat <sup>3</sup>, P. Ashouri <sup>4</sup> and J. Motamedi<sup>5</sup>

1\*-Corresponding author, Associate Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran, Email: m\_khodagholi@yahoo.com

2- Ph.D. of Range Management, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

3- Senior Research Expert, Range Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

5- Associate Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 06/06/2022

Accepted: 08/17/2022

### Abstract

Understanding the environmental factors affecting the establishment of vegetation can help in the proper management of rangeland ecosystems. Optimal habitat has a beneficial effect on the survival and reproduction of species. With the advancement of statistical science and GIS, it has become possible to predict the habitat of plant species using modeling methods. Therefore, the present study was conducted to prepare a forecast map of *B. tomentellus* habitats based on the climate forecast model in South Zagros (Fars province). First, using 29 synoptic stations, a database, including precipitation, night temperature, daily temperature, and the average temperature was formed, and 19 climatic variables were calculated. Also, using a digital height model with an accuracy of 30 meters, three physiographic variables, including slope, direction, and height were prepared. Then, the presence and absence points of *B. tomentellus* were identified using updated maps of ecological zones and field visits. Using logistic regression, the growth behavior of this species in the South Zagros region was determined, and the model map and the corresponding equations were calculated in the current conditions. Using current equations and placement of data extracted from the Worldclime database, the future distribution map of *B. tomentellus* for 2050 was generated under the RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios. The results showed that *B. tomentellus* species would migrate to higher altitudes of 170 and 260 m in the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively. Also, the area of suitable habitat areas from 26.8% of the South Zagros rangeland habitats in the current conditions will be reduced to 8.5% under the RCP4.5 scenario and 1.7% under the pessimistic scenario (RCP8.5) in 2050.

**Keywords:** Climate change, Logistic regression, climate scenario, species distribution model.