

## پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی حال و آینده رویشگاه گونه کلید *Bromus tomentellus* Boiss (مطالعه موردی: استان تهران)

مهشید سوری<sup>۱\*</sup>، مینا بیات<sup>۲</sup>، مرتضی خداقلی<sup>۳</sup>، سعیده ناطقی<sup>۱</sup>

### چکیده

از آنجا که تغییر اقلیم نقش حیاتی در تغییر ساختار اکوسیستم‌های طبیعی دارد، لازم است چگونگی وقوع آن را با جزئیات بیشتری مورد مطالعه قرار داد. پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه رخداد پراکنش فعلی (حال حاضر) و پراکنش بالقوه آینده (برای سه دهه آینده) گونه *Bromus tomentellus* بر اساس دو مدل هشدار اقلیمی شامل سناریوی خوش بینانه (RCP 4.5) و سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) و جابجایی آن در عرض‌های جغرافیایی در سطح مراتع استان تهران مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک داخل و مناطق مجاور استان تهران، 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 شد. سپس با استفاده از نقشه‌های بهنگام شده طرح شناخت مناطق اکولوژیک و بازدهی میدانی، نقاط حضور و غیاب گونه *Bromus tomentellus* Boiss مشخص شد. با استفاده از رگرسیون لجستیک، پراکنش این گونه در منطقه مورد بررسی مشخص شد و با نرم افزار SPSS مدل‌سازی شده و سپس نقشه‌ها در محیط نرم افزاری ARC GIS ترسیم شد. برای تهیه نقشه پراکنش فعلی گونه *Bromus tomentellus* از پایگاه Worldclime، نقشه پراکنش آینده گونه *Bromus tomentellus* Boiss برای سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی خوش بینانه (RCP 4.5) و بدبینانه (RCP 8.5) تولید شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی در تحقیق حاضر نشان داد، گونه *Bromus tomentellus* در شرایط کنونی در ارتفاع ۱۶۰۰ تا ۲۷۰۰ متر قرار گرفته است، در حالی که در سناریو خوش بینانه (RCP 4.5) و سناریو بدبینانه (RCP 8.5) در ارتفاع بالاتر از ۲۵۰۰ متر حضور می‌یابد و از وسعت آن خصوصاً در سناریو بدبینانه کاسته شده و به حاشیه‌های شمالی و شرقی کشیده خواهد شد. اما در شرایط حال حاضر، در بخش‌های مرکزی استان تهران که ارتفاعی حدود ۱۶۰۰ تا ۲۷۰۰ متر دارند، مشاهده می‌گردد. بنابراین بررسی پراکنش گونه *Bromus tomentellus* تحت سناریوی بدبینانه که شدیدترین تغییرات اقلیمی را پیش‌بینی می‌کند، حاکی از این است که گستره پراکنش گونه برای جبران افزایش درجه حرارت به سمت ارتفاعات جابه‌جا خواهد شد.

### واژگان کلیدی:

سناریو خوش بینانه، سناریو بدبینانه، پیش‌بینی، مدل‌سازی، گونه مرتعی.



### مقاله پژوهشی

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

souri@rifr-ac.ir

\* نویسنده مسئول

Nateghi@rifr-ac.ir

۲. پژوهشگر بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Bayat@rifr-ac.ir

۳. استاد پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

khodaghohi@rifr-ac.ir

۲۵۰۵-۱۱۰۴

شناسه مقاله:

۷۸۷-۸۰۲

شماره صفحه پایایی:

۱۴۰۴/۰۲/۲۷

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۶/۰۵

انتشار آنلاین:

۸۷ روز

زمان پذیرش:

### استناددهی:

سوری، م.، بیات، م.، خداقلی، م.، و ناطقی، س. (۱۴۰۳). پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی حال و آینده رویشگاه گونه کلید *Bromus tomentellus* Boiss (مطالعه موردی: استان تهران). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۴(۲)، ۴۴-۵۹.

## ۱- مقدمه

تغییر اقلیم با تأثیر بر عواملی چون پراکنش گیاهان، رخداد بلایای طبیعی (مانند آتش‌سوزی، خشکسالی و سیل)، شدت و زمان بارش، دما، رطوبت، آفات و بیماری‌ها، دسترسی به مواد غذایی و طول دوره رشد، بر کمیت و کیفیت تولیدات گیاهی مراتع اثر می‌گذارد (خورشیددوست و همکاران، ۱۴۰۱). این تغییرات اقلیمی، که در سال‌های اخیر در سراسر جهان مشاهده شده‌اند، نگرانی عمده‌ای برای محیط‌زیست‌بانان و سیاست‌گذاران ایجاد کرده و لزوم بررسی تأثیرات مخرب مستقیم و غیرمستقیم آنها را بر اکوسیستم‌ها و جوامع محلی برجسته ساخته است (Karim; Onoz and Bayazit, 2003). با توجه به تأثیرات گسترده و متقابل اقلیم با بخش‌های مختلف تولیدی، عوامل زیست محیطی و جوامع انسانی، امروزه از تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی قرن بیست و یکم یاد می‌شود که پیامدهای جدی اقتصادی به دنبال دارد (Reidsma et al., 2020). با توجه به اهمیتی که تغییر اقلیم بر ساختار محیط کره زمین و ساکنین آن داشته و خواهد داشت تلاش در جهت شناخت هر چه بیشتر چگونگی رخدادهای تغییر اقلیم امری مسلم است. این ضرورت به‌ویژه در زمان فعلی که بحث گرم شدن جهانی به یک مسئله جدی تبدیل گردیده است، آشکار می‌شود. تحقیقات دانشمندان نشان داده است، اقلیم کره زمین ثابت نبوده، لیکن علت این تغییرات در گذشته و حال با یکدیگر متفاوت است. تغییرپذیری در اقلیم، هم در نتیجه تغییرپذیری سیستم‌های اقلیمی و هم به دلیل عوامل خارجی اتفاق می‌افتد (Yu et al., 2006). تحقیقات نشان دادند در ایران، به‌عنوان کشوری در حال توسعه، در مقایسه با اقتصادهای قدرتمند، تغییر اقلیم بیشتر به بروز مسائل اجتماعی و اقتصادی منجر شده است (اکبری و صیاد، ۱۴۰۰). گرچه تمامی علل تغییر یا عدم تغییر اقلیم دنیا کاملاً شناخته نشده‌اند، اما بحث درباره تغییر اقلیم مطمئناً مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده و خواهد بود. نگرانی انسان‌ها در مورد تغییرات اقلیمی آینده در سال‌های اخیر، باعث توجه بیشتر به این مسئله شده است، زیرا تغییر دما و بارش بیشتر در یکصد سال اخیر در سراسر دنیا رخ داده و انتظار می‌رود که همچنان ادامه داشته باشد. نتایج بررسی‌های خدق‌لی و همکاران (۱۴۰۱)، نشان می‌دهد که به‌طور متوسط دمای میانگین سالانه، حدود ۰/۴ به ازای یک دهه در کشور افزایش یافته است. به‌طور کلی، تغییر اقلیم یک نگرانی عمده برای مدیریت و حفاظت تنوع زیستی است، زیرا جنبه‌های مختلف زیستی گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای درک بهتر از تغییرات اقلیم آینده، ضروری است که توزیع کنونی و آینده گونه‌ها مشخص شود (Beaumont et al., 2005).

کارگروه بین‌المللی تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۱۰۰ میانگین جهانی دمای سطح زمین بین ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. با افزایش از ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد انتظار می‌رود که تقریباً ۲۰ تا ۳۰ درصد از گونه‌های گیاهی و جانوری در خطر انقراض قرار گیرند و همچنین اثرات نامطلوبی بر امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه خواهد داشت (FAO, 2007). اکوسیستم‌های مرتعی به علت تنوع محصولات و خدمات از جمله دامداری، پناهگاه حیات وحش، تنوع گونه‌های جانوری، 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، می‌تواند به‌طور اساسی، ترکیب، توزیع و پراکنش گونه‌های گیاهی و همچنین تولید آن‌ها را کاهش دهد (حشمتی و کریمیان، ۱۳۹۳). 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 تولید مثل کند، باید این احتیاجات تأمین گردد. تغییر اقلیم یک نگرانی عمده برای مدیریت و حفاظت تنوع زیستی است، چرا که جنبه‌های مختلف زیستی گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

درک سازگاری با تغییر اقلیم به یک چالش مهم برای تسهیل اقدامات سازگاری و بهبود ظرفیت سازگاری تبدیل شده است (آزاد و همکاران، ۱۳۹۸). لازمه مدیریت و بهره‌برداری پایدار از یک اکوسیستم شناخت اجزای اصلی آن، بررسی روابط بین آنها و شناخت تنگناهای آن اکوسیستم است. با بررسی و شناخت محیط می‌توان بین تولید و بهره‌برداری از منابع محیطی تعادل و توازن برقرار کرد. به دلیل پیچیدگی‌هایی که در بررسی روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی وجود دارد، امروزه تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی از حالت توصیفی به سوی زمینه‌های کمی سوق داده شده است. تغییرات در ساختار و ترکیب پوشش گیاهی به‌طور ذاتی با یک تعامل پیچیده از عوامل غیرزیستی نظیر اقلیم، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک و همچنین تعاملات زیستی شامل چرای گیاهخواران، رقابت و اختلالات انسانی مرتبط است. این موضوع بیانگر این است که حضور و پراکنش جامعه‌های گیاهی در بوم اکوسیستم‌ها تصادفی نیست، بلکه در ارتباط با تعدادی محرک‌های مختلف شامل اقلیم، ویژگی‌های خاک و شرایط طبیعی توسعه پیدا می‌کنند. اقلیم به‌طور مستقیم بر تمامی عوامل مؤثر بر محیط رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد و تحقیقاتی که در سال‌های اخیر انجام شده، دلالت بر کنترل بالقوه اقلیم‌ها روی پراکنش گیاهان دارد. مدل‌های پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی می‌توانند روابط حاکم بر توزیع جغرافیایی یک گونه خاص را با محیط فعلی آن‌ها مشخص می‌کنند و علاوه بر تعیین مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها امکان بررسی منحنی‌های عکس‌العمل 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 مقدور می‌سازند (Elith and Leathwick, 2009). از آنجایی که مدل‌های پیش‌بینی کننده پراکنش گونه‌ها می‌توانند مکان‌های بالقوه مناسب برای پراکنش گونه‌ها را پیش‌بینی کنند، بنابراین نقش مهمی را در تعیین مناطق مستعد جهت احیا مراتع ایفا می‌کنند.

تغییر اقلیم با پیامدهای گسترده‌ای که بر اکوسیستم‌های طبیعی و تنوع زیستی دارد، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی تبدیل شده است. گونه‌های گیاهی، به‌ویژه آنهایی که نقش کلیدی در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها ایفا می‌کنند، در برابر این تغییرات آسیب‌پذیرند. درک چگونگی پاسخ این گونه‌ها به تغییرات اقلیمی برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریت پایدار منابع طبیعی حیاتی است. Souri et al. (۲۰۲۴) نیز بر تأثیر عوامل اقلیمی بر پراکنش گونه‌های گیاهی در ایران و جابجایی احتمالی زیستگاه‌ها تأکید کرده‌اند. تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن حاضر محسوب می‌شود که پیامدهای گسترده‌ای بر اکوسیستم‌های طبیعی، تنوع زیستی و عملکرد خدمات اکوسیستمی دارد. در این راستا، مدل‌سازی توزیع گونه‌ها به‌عنوان ابزاری قدرتمند و پرکاربرد برای پیش‌بینی و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پراکنش گونه‌ها محسوب می‌شود. با این حال، باید در نظر داشت که در کنار آن، رویکردهای دیگری مانند مطالعات میدانی بلندمدت و سنجش از دور نیز در این ارزیابی نقش مهمی ایفا می‌کنند (Pearson et al., 2003). برای این منظور، روش‌ها و مدل‌های بسیاری توسعه یافته‌اند. مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی، به‌عنوان 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 پیش‌بینی‌کننده رویشگاه، تناسب رویشگاه را برای استقرار گونه‌های گیاهی و جانوری مشخص می‌کنند و به مدیران منابع طبیعی کمک می‌کنند 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 بپردازند (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۱). مدل‌های پراکنش گونه‌ای معمولاً برای ارزیابی پتانسیل تغییرات در پراکنش گونه‌ها در واکنش به فاکتورهای متفاوت استفاده می‌شوند. تفسیر و توضیح دگرگونی در توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهی و جانوری بر اساس تغییر اقلیم، نیازمند زمان بوده و دشوار است (پژهان، ۱۳۹۲). همچنین برای تحقیق در تغییر اقلیم، تحلیل و آشکارسازی تغییرات در سیستم‌های اقلیمی گذشته و به‌کارگیری مدل‌های آماری لازم می‌باشد. تغییرات اقلیمی در دو دهه اخیر، یک موضوع جدی بوده و بسیاری از تحقیقات بر جنبه‌های مختلف آن متمرکز شده‌اند (معمدی و خدافل، ۱۴۰۱).

پژوهش‌های گسترده‌ای به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری پرداخته‌اند. این مطالعات عمدتاً بر استفاده از مدل‌های توزیع گونه‌ها به‌منظور پیش‌بینی تغییرات آتی در وسعت و مکان زیستگاه‌های مناسب تمرکز دارند. تغییر اقلیم می‌تواند منجر به جابجایی پراکنش گونه‌ها به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر یا ارتفاعات بیشتر، کاهش وسعت زیستگاه‌های مطلوب و حتی انقراض محلی برخی گونه‌ها شود (Guisan et al., 2017). این یافته‌ها، اهمیت شناسایی گونه‌های آسیب‌پذیر و توسعه راهبردهای حفاظتی سازگار با تغییر اقلیم را در مقیاس جهانی برجسته می‌سازند. در ایران نیز مطالعات متعددی با هدف ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی، به‌ویژه گونه‌های مرتعی و درختی، انجام شده است. این پژوهش‌ها، اغلب با بهره‌گیری از مدل‌های توزیع گونه‌ها به پیش‌بینی تغییرات آتی در زیستگاه‌ها پرداخته‌اند. برای مثال، مطالعات متمرکز بر گونه *Bromus tomentellus* در مناطق البرز و زاگرس، نشان داده‌اند که متغیرهای اقلیمی نظیر دما (میانگین دمای سالانه، گرم‌ترین و سردترین ماه) و بارش، نقش حیاتی در تعیین زیستگاه این گونه ایفا می‌کنند. نتایج این پژوهش‌ها غالباً حاکی از جابجایی زیستگاه‌های مطلوب *Bromus tomentellus* به سمت ارتفاعات بالاتر و کاهش کلی در مساحت رویشگاه‌های مناسب در آینده است (معمدی و خدافل، ۱۴۰۱). علاوه بر *Bromus tomentellus*، مطالعات دیگری نیز بر روی گونه‌های مرتعی مهم مانند *Artemisia aucheri* در مراتع استان تهران انجام شده است.

Souri et al. (۲۰۲۴) در پژوهش خود بر روی *Artemisia aucheri* در استان تهران، بیان داشتند که با تغییر شرایط از وضعیت خوش بینانه به سمت سناریوهای بدبینانه، از وسعت مناطق با درصد حضور بالای ۷۵ درصد کاسته شده و بر وسعت مناطقی با درصد حضور ۲۵ تا ۵۰ درصد افزوده می‌گردد. این یافته‌ها، بر لزوم شناخت دقیق تأثیرات اقلیمی بر پراکنش گونه‌ها برای مدیریت پایدار مراتع و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی در اکوسیستم‌های حساس ایران تأکید می‌کنند. گونه *Bromus tomentellus* به‌عنوان یک گونه مرتعی مهم در مراتع ایران، از جمله استان تهران، نقش بسزایی در پوشش گیاهی و اکولوژی منطقه ایفا می‌کند. انتخاب گونه *Bromus tomentellus* به‌خاطر پراکنش گسترده گونه، نقش شاخص اکولوژیکی آن در مراتع و حساسیت بالقوه این گونه به تغییرات اقلیمی صورت گرفته است. همچنین با توجه به وسعت استان تهران و اهمیت تغییرات اقلیمی در پراکنش گونه‌های گیاهی، پژوهش حاضر با هدف بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش حال و آینده رویشگاه گونه کلید *Bromus tomentellus* در مراتع استان تهران صورت می‌گیرد. این گونه، به دلیل نقش اکولوژیکی و حضور گسترده در مراتع منطقه، به‌عنوان یک گونه شاخص برای ارزیابی پاسخ اکوسیستم‌های مرتعی تهران به تغییرات اقلیمی انتخاب شده است. در این پژوهش، با تهیه نقشه رخداد گستره کنونی (حال حاضر) و گستره بالقوه آینده (برای سه دهه آینده) گونه *Bromus tomentellus*، بر طبق دو مدل هشدار اقلیمی شامل سناریوی خوش بینانه (RCP 4.5) و سناریوی بدبینانه (RCP 8.5)، جابجایی آن در عرض‌های جغرافیایی در سطح مراتع استان تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌عبارت دیگر با توجه به اینکه تغییرات پراکنش حال و آینده *Bromus tomentellus* در استان تهران، که منطقه‌ای با فشارهای اقلیمی و انسانی بالا است، ضروری به‌نظر می‌رسد. این پژوهش می‌تواند به پر کردن شکاف‌های دانشی موجود کمک کرده و اطلاعات دقیقی را برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی این گونه در این منطقه فراهم آورد. به این ترتیب، این پژوهش به سوال کلیدی پاسخ می‌دهد که: در استان تهران رویشگاه‌های گونه *Bromus tomentellus* در آینده نسبت به شرایط حال چه تغییری می‌کنند؟ نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی در راستای

تدوین برنامه‌های حفاظتی و مدیریت پایدار مراتع استان تهران در مواجهه با چالش‌های تغییر اقلیم فراهم آورند. اهداف این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد:

۱- تهیه نقشه دقیق از پراکنش جغرافیایی کنونی گونه *Bromus tomentellus*

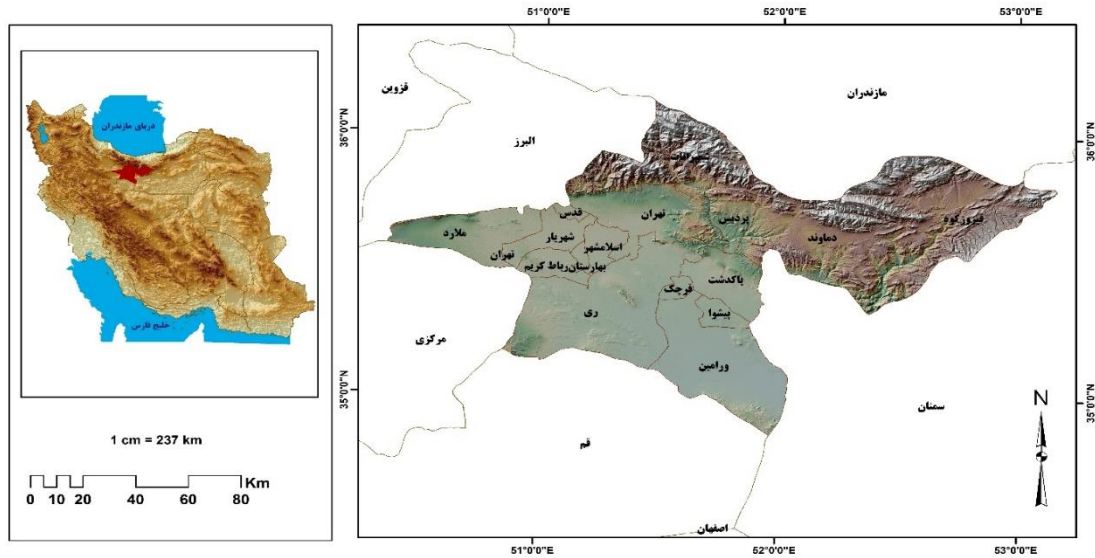
۲- پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی آینده گونه *Bromus tomentellus* در مراتع استان تهران با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم (RCP 4.5) و (RCP 8.5)

۳- ارزیابی میزان و جهت جابجایی جغرافیایی رویشگاه‌های گونه *Bromus tomentellus*

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۱- منطقه مورد مطالعه

استان تهران، به مرکزیت شهر تهران با وسعتی حدود ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع در شمال ایران و در حد فاصل منطقه کوهستانی و دشت قرار دارد. قرار دارد. مختصات جغرافیایی آن در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. استان تهران ۲/۱ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی استان تهران

### ۲-۲- گونه *Bromus tomentellus*

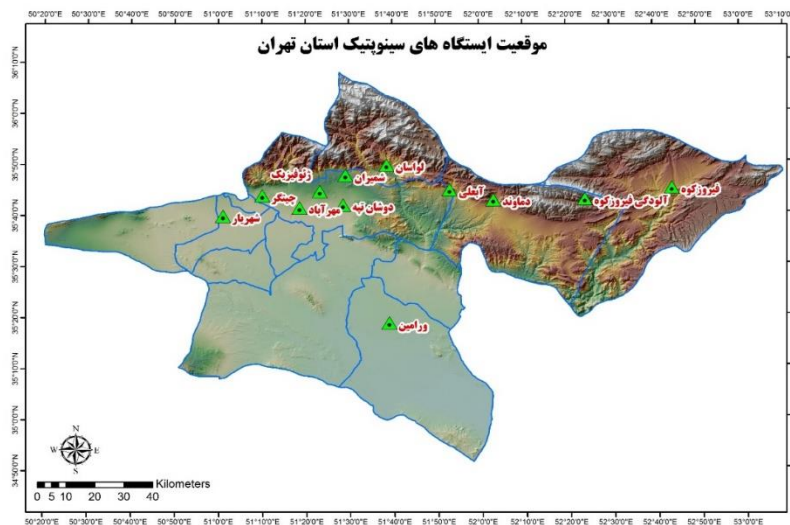
گیاهی چندساله، متعلق به خانواده گندمیان می‌باشد که برگ‌ها با غلاف لوله‌ای، با پهنک پهن، گل آذین خوشه مرکب افراشته یا آویخته، پراکنده یا متراکم، سنبلک گوه‌ای، نیزه‌ای یا مستطیلی، با ۳ تا ۱۶ گل دارد (مظفریان و همکاران، ۱۳۷۹). این گونه مرتعی نقش مهمی در تولید علوفه و کاهش رواناب دارد (معمدی و خدافل، ۱۴۰۱).

### ۲-۳- روش تحقیق

مراحل اجرای این تحقیق عبارتند از: جمع‌آوری داده، اطلاعات حضور گونه، بررسی متغیرهای محیطی، اجرای مدل، ارزیابی مدل و در نهایت تولید نقشه می‌باشد که در ادامه به تفصیل شرح داده شده است.

### ۲-۳-۱- جمع‌آوری داده

در این تحقیق ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در مناطق رویشی مختلف استان تهران به منظور استخراج داده‌های اقلیمی شامل مقدار بارش، میانگین دما، میانگین دمای حداکثر و میانگین دمای حداقل ماهانه و سالانه مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور در محدوده استان تهران استخراج گردید. برای تهیه نقشه پراکنش فعلی گونه *Bromus tomentellus* از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد و سپس بر اساس داده‌های استخراج شده از پایگاه Worldclime، نقشه پراکنش آینده گونه *Bromus tomentellus* برای سال ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی خوش بینانه (RCP 4.5) و بدبینانه (RCP 8.5) تولید شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران

### ۲-۳-۲- تهیه نقشه رخداد (حضور و عدم حضور) گونه *Bromus tomentellus* در استان تهران

در ابتدا نقشه پوشش گیاهی استان تهران با استفاده از نقشه‌های طرح شناخت مناطق اکولوژیک موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. سپس بر اساس بازدید مناطق مختلف از رویشگاه گونه *Bromus tomentellus*، ارتفاع حداقل و حداکثر (۱۶۰۰ تا ۲۷۰۰ متر) مشخص گردید. سپس کاربری‌های غیر از پلی‌گون‌ها حذف گردید و با پیمایش میدانی مرزها بررسی و تدقیق شد. با استفاده از رگرسیون لجستیک، پراکنش این گونه در منطقه مورد بررسی مشخص گردید و با نرم افزار SPSS مدل‌سازی شده و سپس نقشه‌ها در محیط نرم افزاری ARCGIS ترسیم شد و نقشه حضور فعلی گونه بدست آمد.

### ۲-۳-۳- متغیرهای محیطی

برای این منظور، از ۱۹ متغیر زیست اقلیمی (جدول ۱) و سه متغیر فیزیوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) که با اندازه پیکسل  $4/9 \times 4/9$  کیلومتر برای گستره رویشی مناطق مختلف آب و هوایی که بر گرفته از طرح ملی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه‌های مهم مرتعی کشور بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم که در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شده بود، جهت مدل‌سازی پراکنش گونه، استفاده شد. در گام بعد، برای افزایش دقت پژوهش و تعمیم نتایج به رویشگاه‌های مرتعی استان تهران، مقادیر متغیرها برای پیکسل‌های یک کیلومتری استان تهران، به‌نگام شد و نقاط حضور گونه با عدد یک و عدم حضور، با صفر مشخص گردید. سپس، متغیرهای فیزیوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) نیز بر اساس لایه رقومی ارتفاع با دقت مکانی ۳۰ متر، در محیط ArcGIS تهیه شد. به‌منظور تهیه لایه اطلاعات محیطی ۱۹ بایو اقلیمی برای حال حاضر برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران با استفاده از جدول (۱) محاسبه و برای ۱۹ بایو اقلیمی در سال ۲۰۵۰ از سایت WorldClim.org با دقت ۳۰ ثانیه دانلود شدند. این داده‌ها برای دو سناریو RCP 4.5 (خوش بینانه) و RCP 8.5 (بد بینانه) برای دوره آتی به‌دست آمد (جدول ۱).

### ۲-۳-۴- اجرای مدل رگرسیون لجستیک

در این تحقیق، رگرسیون لجستیک به‌عنوان ابزار اصلی تحلیل برای پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه *Br. tomentellus* مورد استفاده قرار گرفت. رگرسیون لجستیک یک فرم ویژه از مدل خطی تعمیم‌یافته است که برای مدل‌سازی رابطه بین یک متغیر پاسخ دودویی (مانند حضور/غیاب گونه) و یک یا چند متغیر پیش‌بین (مانند عوامل محیطی) به کار می‌رود. فرمول کلی آن به صورت زیر است:

$$p(Y=1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n)}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $P(Y=1)$  احتمال حضور گونه،  $e$  پایه لگاریتم طبیعی،  $\beta_0$  عرض از مبدأ،  $\beta_i$  ضرایب رگرسیون برای متغیرهای پیش‌بینی  $X_i$  و  $X_i$  متغیرهای محیطی مؤثر هستند

جدول (۱): متغیرهای محیطی استفاده شده در فرایند مدل سازی (Hijmans et al., 2005)

نام BIO	تعریف	واحد
BIO <sub>1</sub>	میانگین دمای سالانه	درجه سانتی گراد
BIO <sub>2</sub>	دمای حداقل و حداکثر ماهانه (دمای حداکثر - دمای حداقل)	درجه سانتی گراد
BIO <sub>3</sub>	هم دمایی $\times 100 (BIO_2/BIO_7)$	درجه سانتی گراد
BIO <sub>4</sub>	دمای فصلی (انحراف معیار $\times 100$ )	درجه سانتی گراد
BIO <sub>5</sub>	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	درجه سانتی گراد
BIO <sub>6</sub>	حداقل دمای سردترین ماه	درجه سانتی گراد
BIO <sub>7</sub>	دامنه دمای سالانه (BIO <sub>5</sub> -BIO <sub>6</sub> )	درجه سانتی گراد
BIO <sub>8</sub>	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	درجه سانتی گراد
BIO <sub>9</sub>	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	درجه سانتی گراد
BIO <sub>10</sub>	میانگین دمای گرم‌ترین فصل	درجه سانتی گراد
BIO <sub>11</sub>	میانگین دمای سردترین فصل	درجه سانتی گراد
BIO <sub>12</sub>	بارندگی ماهانه	میلی‌متر
BIO <sub>13</sub>	بارندگی مرطوب‌ترین ماه	میلی‌متر
BIO <sub>14</sub>	بارندگی خشک‌ترین ماه	میلی‌متر
BIO <sub>15</sub>	بارندگی فصلی (ضریب تغییرات)	میلی‌متر
BIO <sub>16</sub>	بارندگی مرطوب‌ترین فصل	میلی‌متر
BIO <sub>17</sub>	بارندگی خشک‌ترین فصل	میلی‌متر
BIO <sub>18</sub>	بارندگی گرم‌ترین فصل	میلی‌متر
BIO <sub>19</sub>	بارندگی سردترین فصل	میلی‌متر
-	شیب	درصد
-	جهت	-
-	ارتفاع	متر

## ۲-۴- ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل نقشه‌های رویشگاه بالقوه حاصل از رگرسیون لجستیک با استفاده از ۲۲ متغیر مستقل و با کمک ماتریس خطا، از ضریب آماری کاپا استفاده شد. پیش‌بینی مدل‌های باینری (یعنی پیش‌بینی مناسب و نامناسب بودن) نیازمند تکمیل ماتریس خطا است. ماتریس خطا فراوانی پیش‌بینی داده‌های آزمون مدل را ثبت می‌کند و همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، شامل چهار بخش a، b، c و d می‌باشد که بر اساس تعداد رخدادهای صحیح و اشتباه حضور و عدم حضور گونه در مقادیر واقعی و مدل تولید می‌شوند. a نشان‌دهنده مثبت حقیقی است 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 (Robert et al., 2006).

جدول (۲): ارزیابی مدل با استفاده از ماتریس خطا

	حضور ثبت شده	غیاب ثبت شده
حضور پیش‌بینی شده	مثبت واقعی a	مثبت کاذب b
غیاب پیش‌بینی شده	منفی کاذب c	منفی واقعی d

با توجه به ماتریس  $2 \times 2$  تشکیل شده، صحت کلی مدل و بهترین آستانه برای ترسیم نقشه تناسب رویشگاه به‌دست آمد. با استفاده از ماتریس خطا ضرایب آماری مختلفی را می‌توان محاسبه نمود که از جمله آنها می‌توان به ضریب آماری کاپا اشاره کرد. ضریب کاپا توافق بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد و برای محاسبه آن از ماتریس خطا استفاده می‌شود. حداکثر مقدار کاپا برابر یک است، یعنی این که توافق کامل بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده وجود دارد. در رابطه (۲) ضریب کاپا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$k = \frac{\left(\frac{a+d}{n}\right) - \frac{(a+b)(a+c) + (c+d)(d+b)}{n^2}}{1 - \frac{(a+b)(a+c) + (c+d)(d+b)}{n^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در مقادیر یک احتمال تصادفی یا غیرتصادفی بودن مقادیر واقعی و پیش‌بینی برابر است و منفی بودن نشان‌دهنده‌ی غیر واقعی بودن مدل می‌باشد (Ngoy and Shebitz, 2019). پس از اعتبارسنجی مدل کنونی، همین مدل رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی گستره جغرافیایی گونه *Bromus tomentellus* در سال ۲۰۵۰ به کار گرفته شد. برای این منظور، داده‌های اقلیمی پیش‌بینی‌شده توسط مدل گردش عمومی MRI-ESM2-0 تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲-۵- تولید نقشه

برای تهیه نقشه گستره کنونی (حال حاضر) گونه *Bromus tomentellus* ابتدا داده‌های مربوط به نقاط حضور و غیاب گونه جمع‌آوری شد. در کنار این داده‌ها، مقادیر مربوط به متغیرهای اقلیمی و فیزیوگرافی (که در مراحل پیشین پژوهش محاسبه و آماده شده بودند) به‌عنوان متغیرهای مستقل (پیشگو) در نظر گرفته شدند. این متغیرها شامل عواملی چون دما، بارش، ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی بودند که نقش مهمی در تعیین زیستگاه گونه ایفا می‌کنند. با استفاده از این مجموعه داده‌ها و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5، مدل رگرسیون لجستیک اجرا شد. شایان ذکر است، قبل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه گستره گونه *Bromus tomentellus*، پردازش‌های زیر روی داده‌ها انجام شده است. گردآوری داده‌های حضور و غیاب گونه: این مرحله شامل جمع‌آوری دقیق موقعیت‌های جغرافیایی که گونه در آنجا مشاهده شده (حضور) و در صورت لزوم، نقاطی که گونه در آنجا وجود نداشته (غیاب) می‌شود. آماده‌سازی متغیرهای محیطی (اقلیمی و فیزیوگرافی): متغیرهایی مانند دما، بارش، ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی که از قبل محاسبه و آماده شده بودند، به‌عنوان ورودی برای مدل در نظر گرفته شده‌اند. این آماده‌سازی معمولاً شامل مراحل زیر است:

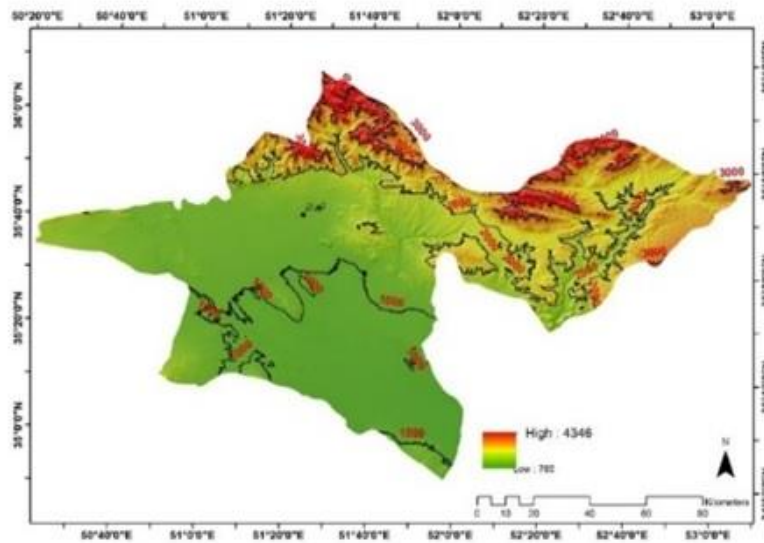
جمع‌آوری و پیش‌پردازش اولیه: دریافت داده‌ها از منابع معتبر (پایگاه‌های داده اقلیمی یا مدل‌های رقومی ارتفاع). تنظیم و یکپارچه‌سازی، برش دادن داده‌های محدوده مطالعاتی، همسان‌سازی وضوح فضایی (رزولوشن) بین لایه‌های مختلف و اطمینان از سازگاری سیستم مختصات. این مراحل، گام‌های استاندارد در آماده‌سازی داده‌ها برای مدل‌سازی توزیع گونه‌ها هستند (Elith and Leathwick, 2009). این مدل، ارتباط بین حضور و غیاب گونه و متغیرهای محیطی را تحلیل کرده و در نهایت، نقشه احتمال حضور گونه را برای کل منطقه مورد مطالعه (استان تهران) تولید کرد. نقشه خروجی شامل مقادیری بین صفر (احتمال صفر درصد حضور) تا یک (احتمال ۱۰۰ درصد حضور) برای هر پیکسل از رویشگاه است با استخراج مقادیر پیش‌بینی شده از نقشه متغیرهای محیطی ماتریس همبستگی تشکیل شد و متغیرهایی که همبستگی بیشتر از ۸۰ درصد داشتند، حذف گردیدند (صفائی و همکاران، ۱۳۹۲). اعمال سناریوهای اقلیمی بر مدل پیش‌بینی به این صورت انجام شد که متغیرهای اقلیمی آینده (دما، بارش و غیره) که توسط مدل MRI-ESM2-0 (مدل موجود در پایگاه Worldclime) برای سال ۲۰۵۰ و تحت هر دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 پیش‌بینی شده بودند، جایگزین متغیرهای اقلیمی کنونی در مدل رگرسیون لجستیک شدند.

شایان ذکر است، سناریوی خوش بینانه (RCP 4.5): این سناریو نشان‌دهنده یک مسیر انتشار متوسط تا نسبتاً خوش‌بینانه است که در آن انتشار گازهای گلخانه‌ای پس از اواسط قرن به اوج خود رسیده و سپس کاهش می‌یابد. سناریوی بدبینانه (RCP 8.5): این سناریو یک مسیر انتشار بالا و فزاینده را نشان می‌دهد که بدون تغییر عمده در سیاست‌های جهانی، منجر به گرمایش قابل توجهی در آینده می‌شود. سایر متغیرهای فیزیوگرافی (مانند ارتفاع، شیب و جهت) که انتظار نمی‌رود در این بازه زمانی کوتاه تغییر قابل توجهی داشته باشند، ثابت نگه داشته شدند (IPCC, 2021). با این جایگزینی، مدل قادر به تولید نقشه‌های احتمال حضور گونه *Bromus tomentellus* در استان تهران برای سال ۲۰۵۰ تحت هر دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه شد. این فرآیند امکان مقایسه پراکنش کنونی و آینده گونه و تحلیل جابجایی‌های احتمالی رویشگاه آن در واکنش به تغییرات اقلیمی را فراهم می‌آورد.

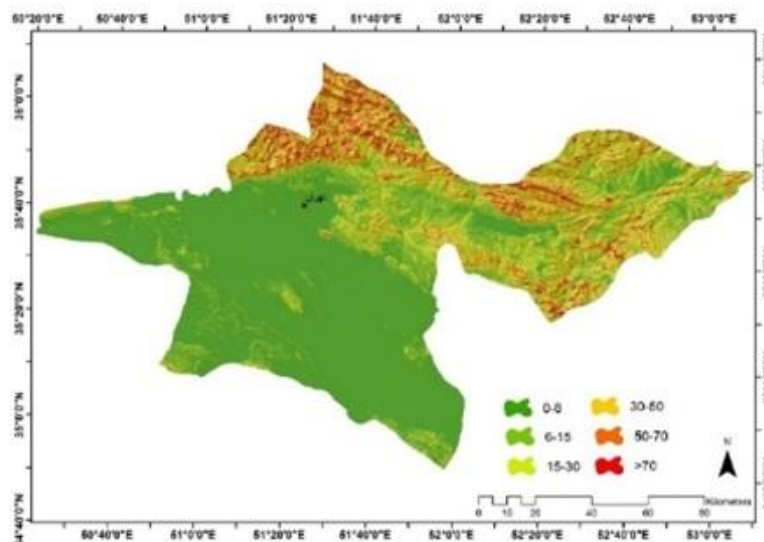
## ۳- نتایج

### ۳-۱- متغیرهای محیطی و اقلیمی

بر اساس شکل (۳) در استان تهران در مناطق مرکزی و جنوبی کمترین ارتفاع حدود ۱۰۰۰ متر است که با حرکت به سمت مناطق شمالی و شمال شرقی ارتفاع افزایش یافته و به حدود ۴۳۰۰ متر می‌رسد. شکل (۴) نشان داد، مساحتی با شیب‌های بالای ۵۰ درصد در بخش‌های مناطق شمالی و شرقی مشاهده می‌شود و بیشتر سطح استان با شیب ۰ تا ۶ درصد پوشیده شده است. مطابق با شکل (۵) بیشترین مساحت مربوط به طبقه ۱۸۰ تا ۲۲۵ درجه می‌باشد که ۲۳ درصد کل استان تهران را به خود اختصاص داده است و کمترین مساحت مربوط به طبقه ۲۷۰-۳۱۵ درجه می‌باشد که ۶ درصد کل استان را به خود اختصاص داده است.

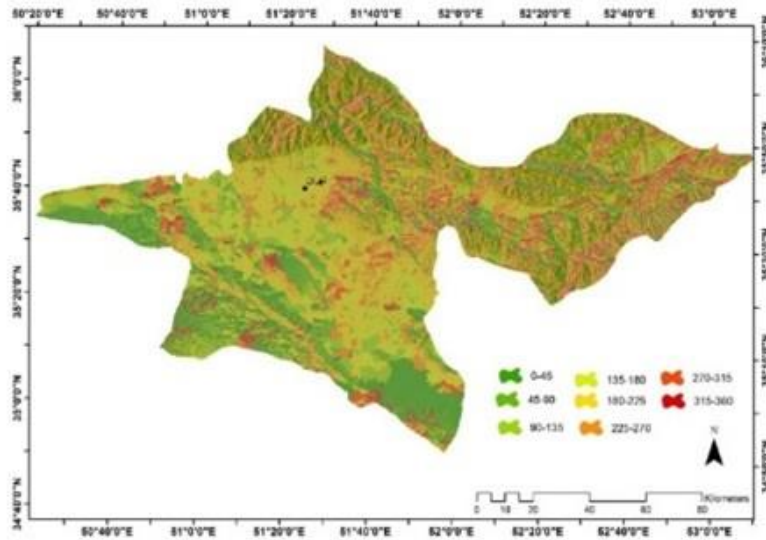


شکل (۳): نقشه طبقه‌بندی ارتفاعی استان تهران



شکل (۴): نقشه کلاس‌بندی شیب (درجه) استان تهران

مقدار بارش در بخش‌های شمالی و شرق استان بیش از ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد و با حرکت به سمت مناطق پست جنوبی و غربی مقدار بارش کاهش یافته و به حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌رسد. همچنین میانگین وزنی بارش سالانه در استان تهران برابر با ۲۰۵ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۶). مطابق با شکل (۷) مقدار میانگین دما در بخش‌های شرقی استان کمترین مقدار بوده و حدوداً برابر با ۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و با حرکت به سمت مناطق غربی و جنوبی بر مقدار میانگین دما افزوده شده و به حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بر اساس محاسبات انجام شده متوسط وزنی درجه حرارت سالانه استان تهران برابر با ۱۲/۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مطابق با شکل (۸) میانگین دمای حداقل در بخش شرقی منطقه حدود ۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و بیشترین مقدار را شامل می‌شود و با حرکت به سمت مناطق غربی و جنوبی بر شدت دما افزوده شده و به حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. میانگین وزنی دمای حداقل سالانه در استان تهران ۶/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مطابق با شکل (۹) میانگین دمای حداکثر در بخش غربی و جنوبی استان بیشترین مقدار بوده و برابر با ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و با حرکت به سمت مناطق شرقی و شمالی از مقدار دمای حداکثر کاسته شده و به حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. همچنین میانگین وزنی دمای حداکثر سالانه در استان تهران ۱۸/۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

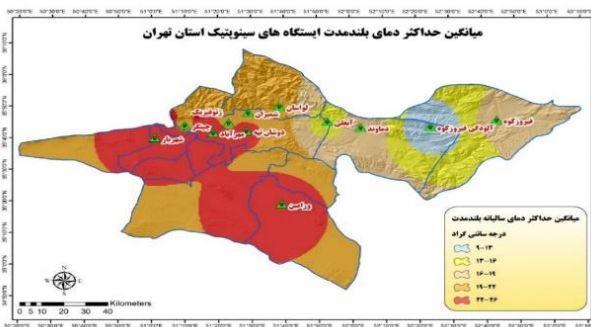


شکل (۵): نقشه جهت‌های جغرافیایی استان تهران



شکل (۷): میانگین دمای بلند مدت ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران

شکل (۶): مجموع بارش سالانه بلند مدت ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران



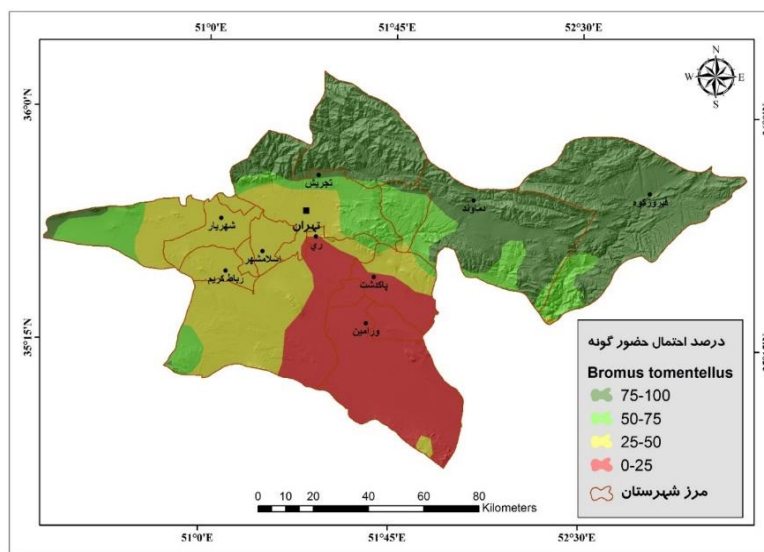
شکل (۹): میانگین حداکثر دمای بلند مدت ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران

شکل (۸): میانگین حداقل دمای بلند مدت ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران

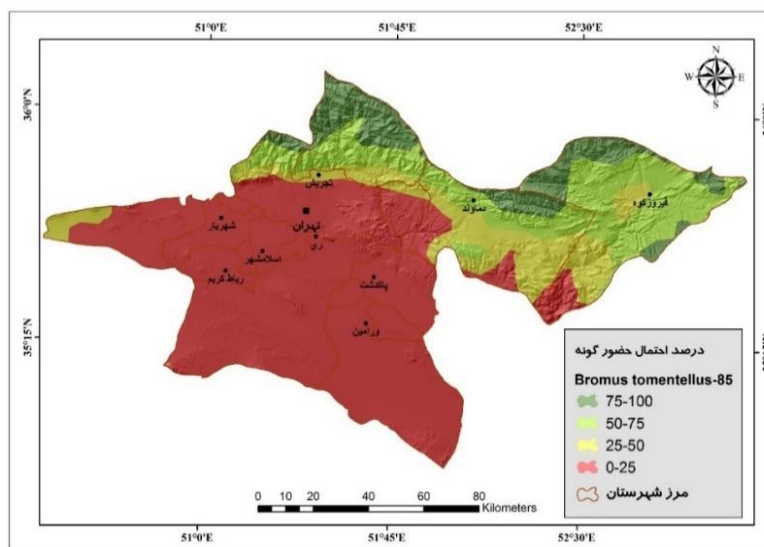
۳-۲- نقشه رویشگاه بالقوه و آینده گونه *Bromus tomentellus* در استان تهران

نقشه پراکنش فعلی گونه *Bromus tomentellus* بر اساس شکل (۱۰) نشان می‌دهد، این گونه با احتمال ۷۵ تا ۱۰۰ درصد در بخش‌های شمال، شمال شرقی و شمال غربی استان تهران، مشاهده می‌شود و در مناطق پست جنوبی احتمال حضور این گونه صفر تا ۲۵ درصد می‌باشد، کمترین حضور این گونه گیاهی در طبقه ۰.۵۰ تا ۷۵ با مساحت ۱۹۸۰۲۱ هکتار معادل ۱۴ درصد منطقه، قرار گرفته است. نقشه تولید شده بر اساس چهار کلاس منطق بر بسیاری از تحقیقات مشابه (خداقلی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Sour et al., 2024) نشان داد، در تقریباً ۳۸ درصد استان احتمال رخداد این گونه ۷۵ تا ۱۰۰ درصد است که معادل ۵۲۱۴۱۹ هکتار می‌باشد (جدول ۳). پس از برازش مدل و تهیه نقشه پراکنش بالقوه گونه منتخب برای حال حاضر، نقشه متغیرهای تاثیرگذار بر روی گونه *Br.tomentellus* با استفاده از مدل MRI-ESM2-0 برای سال ۲۰۵۰ تحت سناریوی RCP 4.5 و RCP

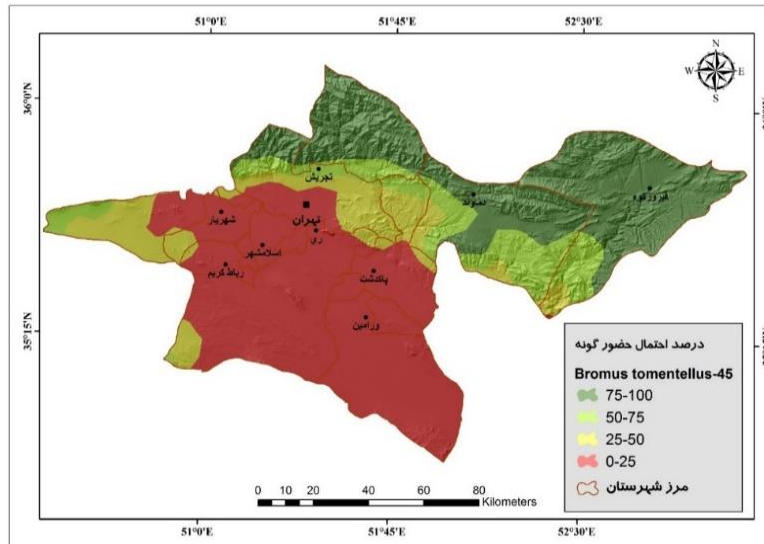
8.5 پیش‌بینی شدند. نقشه‌های حاصل از پیش‌بینی مدل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که تحت سناریوی RCP 4.5، احتمال حضور گونه *Br. tomentellus* با درصد احتمال ۷۷۵ تا ۱۰۰، ۳۰ درصد می‌باشد و در مناطق با ارتفاع بالا که شامل فیروزکوه و دماوند می‌باشد، قرار گرفته است (شکل ۱۱). مطابق با جدول (۳) نتایج پیش‌بینی رویشگاه برای سناریو RCP 4.5 نشان می‌دهد، حضور گونه با احتمال حضور صفر تا ۲۵ در قسمت‌های جنوبی بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است و در حدود ۴۴ درصد استان را شامل می‌شود و حضور این گونه با فراوانی حضور ۷۵ تا ۱۰۰ درصد در ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مشاهده می‌شود و ۳۰ درصد مساحت، معادل ۴۱۸۵۱۷ هکتار را به خود اختصاص داده است. نتایج پیش‌بینی رویشگاه برای سناریو ۸/۵ مطابق جدول (۳) نشان می‌دهد، حضور گونه با احتمال حضور صفر تا ۲۵ در قسمت‌های جنوبی و غربی بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است و در حدود ۵۹ درصد استان را شامل می‌شود و حضور این گونه با فراوانی حضور ۷۵ تا ۱۰۰ درصد در ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مشاهده می‌شود و ۱۰ درصد مساحت، معادل ۱۴۰۲۳۵ هکتار را به خود اختصاص داده است. نقشه‌های حاصل از پیش‌بینی مدل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که تحت سناریوی RCP 8.5، احتمال حضور گونه *Br. tomentellus* با درصد احتمال ۷۵ تا ۱۰۰، ۱۰ درصد می‌باشد و در مناطق با ارتفاع بالا که شامل دماوند می‌باشد و به سمت شمال استان تهران کشیده خواهد شد (شکل ۱۲).



شکل (۱۰): نقشه پراکنش فعلی گونه *Bromus tomentellus* در استان تهران



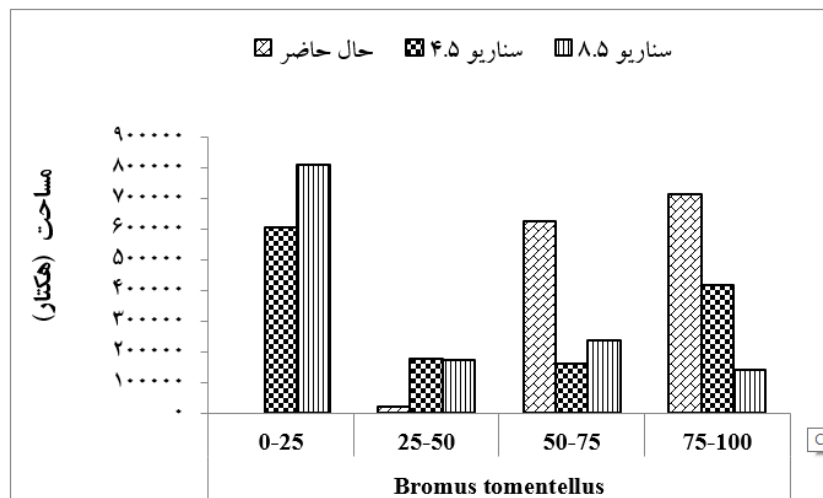
شکل (۱۱): نقشه پراکنش بالقوه گونه *Br. tomentellus* در استان تهران با استفاده از سناریو RCP 4.5 (خوش بینانه)



شکل (۱۲): نقشه پراکنش بالقوه گونه *Bromus tomentellus* در استان تهران با استفاده از سناریو RCP 8.5 (بدبینانه)

### ۳-۳- مقایسه مساحت گونه *Bromus tomentellus* در سناریوهای مختلف

گونه *Bromus tomentellus* بیشترین درصد حضور را در سناریو RCP8.5 در طبقه صفر تا ۲۵ درصد نشان می‌دهد، اما در شرایط حال حاضر، حضور این گونه در طبقه ۷۵ تا ۱۰۰ بیشتر بوده و به سمت شرایط بدبینانه هم در سناریو RCP 4.5 و هم در سناریو RCP 8.5 از درصد حضور ۷۵ تا ۱۰۰ درصد این گونه کاسته شده است (شکل ۱۳).



شکل (۱۳): درصد مساحت گونه *Br.tomentellus* در شرایط حال حاضر و سناریوهای مختلف

### ۳-۴- اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های حضور و عدم حضور گونه و با استفاده از ضریب آماری کاپا انجام شد. مقادیر این شاخص برای گونه *Bromus tomentellus*، ۸۵ درصد می‌باشد که با توجه به طبقه‌بندی ضرایب کاپا توسط (Cohen, 1960) مدل از دقت خوب و قابل قبولی برخوردار است.

### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، در استان تهران، گونه *Bromus tomentellus* Boiss در شرایط کنونی عمدتاً در ارتفاعات ۱۶۰۰ تا ۲۷۰۰ متر پراکنش دارد. با این حال، پیش‌بینی‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم حاکی از جابجایی قابل توجه رویشگاه این گونه به ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر است. به‌طور خاص، تحت سناریوی بدبینانه (RCP 8.5)، وسعت مناطق مناسب برای *Bromus tomentellus* کاهش چشم‌گیری یافته و پراکنش آن به حاشیه‌های شمالی و شرقی استان تهران محدود خواهد شد. این تغییرات با افزایش میانگین دما، به ویژه در فصول بهار و زمستان، و همچنین کاهش بارش در منطقه هم‌سو است (خداعلی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Sourı et al., 2024). این شرایط اقلیمی منجر به ذوب زود هنگام برف و کاهش ذخایر آب می‌شود

که به نوبه خود بر نیاز آبی گیاهان و پایداری رویشگاهها تأثیر منفی می‌گذارد. مطالعاتی نظیر Saboohi et al. (۲۰۱۲) نیز روندهای معنی‌دار گرمایش را در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک ایران تأیید کرده‌اند که نشان‌دهنده گرم شدن اقلیم، به‌ویژه در بهار است. این یافته‌ها بر آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های مرتعی استان تهران در برابر تغییر اقلیم تأکید می‌کنند. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان‌دهنده جابجایی رویشگاه *Bromus tomentellus* به سمت ارتفاعات بالاتر و کاهش وسعت آن در پاسخ به گرمایش و کاهش بارش است، با یافته‌های بسیاری از تحقیقات داخلی و بین‌المللی هم‌خوانی دارد. نتایج تحقیق Thuiller (۲۰۰۷) بیان داشت، یکی از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم، جابجایی محدوده جغرافیایی گونه‌های گیاهی به سمت ارتفاعات بالاتر در نیمکره شمالی می‌باشد، که کاملاً با نتایج حاضر همسو است. خدافل و همکاران (۱۴۰۱) نیز در پژوهش خود بر روی *Bromus tomentellus* در مراتع زاگرس جنوبی، کاهش قابل توجه مساحت مناطق مناسب رویشگاه را تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 پیش‌بینی کردند و به جابجایی آشیان اکولوژیکی گونه‌های مرتعی به سمت مناطق مرتفع‌تر اشاره داشتند. نتایج Sangoony (۲۰۱۶) نیز نشان می‌دهد که *Bromus tomentellus* تا سال ۲۰۸۰ بیش از ۵۰ درصد از سطح رویشگاه‌های خود را از دست داده و به ارتفاعات بالاتر مهاجرت خواهد نمود که مؤید یافته‌های تحقیق حاضر است. همچنین Abolmaali (۲۰۱۸) در مطالعه خود بر روی گونه *Daphne mucronata* در غرب اصفهان، کاهش حدود ۸۰ درصدی رویشگاه و مهاجرت به مناطق مرتفع‌تر را پیش‌بینی کرد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد، گونه *Bromus tomentellus* به دماهای پایین‌تر و رطوبت بیشتر (که عموماً در ارتفاعات بالاتر یافت می‌شوند) واکنش مثبت‌تری نشان می‌دهد. با توجه به افزایش دما و کاهش بارش ناشی از تغییر اقلیم، مناطق دشتی که پیش‌تر برای این گونه مناسب بوده‌اند، به دلیل گرما و خشکی فزاینده نامناسب خواهند شد. در نتیجه، گونه برای جبران این تغییرات و یافتن شرایط بهینه، به سمت ارتفاعات بالاتر جابجا می‌شود. این یافته مؤید آن است که تغییرات اقلیمی، زیستگاه‌های مطلوب گونه را به مناطقی با دمای کمتر و رطوبت بیشتر سوق می‌دهد. کاهش وسعت حضور با درصد ۷۵ تا ۱۰۰ گونه در شرایط بدبینانه نیز به افزایش گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه افزایش دمای هوا نسبت داده می‌شود. این عوامل سبب می‌شوند که گونه برای حفظ بقا به حاشیه‌های شمالی و شرقی استان تهران که دارای شرایط اقلیمی خنک‌تر و مرطوب‌تر هستند، جابجا شود. این امر با دیدگاه محققانی هم‌خوانی دارد که گسترش گیاهان به سمت ارتفاعات طی دوره‌های اخیر را نمونه‌ای از جابجایی گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم ذکر نموده‌اند (ناطقی و همکاران، ۱۴۰۳).

جابجایی گونه‌های گیاهی به سمت ارتفاعات بالاتر، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های طبیعی به تغییرات اقلیمی، موضوعی است که تحقیقات گسترده‌ای را در سال‌های اخیر به خود اختصاص داده است. این پدیده در واقع تلاشی از سوی گونه‌ها برای یافتن شرایط دمایی و رطوبتی مطلوب‌تر است که با گرمایش جهانی و تغییر الگوهای بارش، زیستگاه‌های پیشین آن‌ها را نامناسب می‌سازد. مطالعات متعدد از سال ۲۰۱۵ به بعد، چه در سطح بین‌المللی و چه در ایران، شواهد زیادی در تأیید این روند و در راستای تحقیق حاضر ارائه کرده‌اند. در سطح جهانی، پژوهشگران به‌طور فزاینده‌ای بر پدیده صعود ارتفاعی تمرکز کرده‌اند. جابجایی به سمت ارتفاعات بالاتر یک پدیده فراگیر و جهانی است که در بسیاری از قسمت‌های دنیا مشاهده می‌شود. این موضوع بر اهمیت مدل‌سازی دقیق پراکنش گونه‌ها برای پیش‌بینی تغییرات آبی و تدوین استراتژی‌های حفاظتی تأکید می‌کند. علاوه بر این، تحقیقات دیگری نیز این روند را برجسته کرده‌اند. Dalmaris et al. (۲۰۱۵) به بررسی کاهش یک گونه درختی کلیدی در جنوب غربی استرالیا در بستر تغییر اقلیم پرداختند و مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها را ارائه دادند که به‌طور ضمنی بر تأثیرات تغییر اقلیم بر جابجایی گونه‌ها صحنه می‌گذارد. در راستای نتایج تحقیق حاضر، در ایران نیز، شواهد قابل توجهی از جابجایی گونه‌های گیاهی به سمت ارتفاعات بالاتر مشاهده شده است. این یافته، نیاز به برنامه‌ریزی حفاظتی فوری را برجسته می‌کند. در راستای نتایج تحقیق حاضر بر روی گونه *Bromus tomentellus*، پژوهش‌های داخلی دیگری نیز این روند را تأیید می‌کنند. تحقیق Teimori Asl et al. (۲۰۲۰) بر روی گون زرد (*Astragalus verus*) در زاگرس مرکزی نشان داد که تغییر اقلیم می‌تواند منجر به جابجایی مناطق حضور این گونه به ارتفاعات بالاتر شود، که این روند ممکن است ایجاد محدودیت رویشی و حتی انقراض گونه را در پی داشته باشد. همچنین، پژوهش معتمدی و همکاران (۱۴۰۱) بر روی گونه *Stipa barbata* در البرز جنوبی نیز بر گسترش عمودی این گونه و حرکت آن به سمت عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات بالاتر در پاسخ به افزایش دما و کاهش بارش تأکید کرده است. علاوه بر این، نظری و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه خود بر روی گونه دارویی آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus*) در استان مازندران نیز نشان دادند که تغییر اقلیم محدوده پراکنش این گونه را تغییر داده و به سمت ارتفاعات بالاتر در آینده جابجا خواهد کرد. این مطالعه با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای و سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 به این نتیجه رسیده است. این شواهد داخلی و بین‌المللی، مجموعاً بر ضرورت اقدامات حفاظتی فوری و هدفمند برای حفظ تنوع زیستی در برابر پیامدهای تغییر اقلیم تأکید می‌کنند. هرچند نتایج این مطالعه، همسو با روند غالب جهانی و پژوهش‌های معتبر، یافته‌های مهمی را در خصوص آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های مرتعی استان تهران در برابر تغییر اقلیم ارائه می‌دهد، اما لازم است به محدودیت‌های ذاتی چنین مدل‌سازی‌هایی نیز اذعان شود. درک این محدودیت‌ها برای تفسیر دقیق نتایج و برنامه‌ریزی‌های آینده ضروری است: عدم قطعیت در سناریوهای تغییر اقلیم؛ مدل‌سازی‌های پراکنش گونه‌ای به شدت به سناریوهای متکی هستند که خود بر اساس مفروضات پیچیده جهانی توسعه یافته‌اند. این

سناریوها، به‌ویژه سناریوی بدبینانه RCP 8.5، هر چند شدیدترین اثرات را نشان می‌دهند، اما تحقق دقیق آن‌ها به عوامل متغیر اجتماعی-اقتصادی و سیاسی در آینده بستگی دارد. لذا، پیش‌بینی‌ها باید همواره با احتیاط و در نظر گرفتن طیفی از احتمالات تفسیر شوند. فرضیات مدل‌های پراکنش گونه‌ای و عدم لحاظ دینامیک‌های پیچیده: مدل‌های پراکنش گونه‌ای، که رابطه حضور گونه و متغیرهای زیست‌اقليمی را بررسی می‌کنند، اغلب فرض می‌کنند که آشیان اکولوژیکی گونه در آینده ثابت می‌ماند (Elith and Graham, 2009). این فرض، توانایی گونه برای سازگاری تکاملی سریع، مهاجرت به مناطق جدید و یا تأثیرات متقابل بیوتیکی نظیر رقابت با سایر گونه‌ها، بیماری‌ها و تداخلات گیاه-خاک-جانور را به‌طور کامل در نظر نمی‌گیرد (Franklin, 2010). این عوامل می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر دقت پیش‌بینی‌ها تأثیر بگذارند. کیفیت و تفکیک‌پذیری داده‌های ورودی و دقت مدل‌سازی به شدت وابسته به کیفیت و پوشش فضایی داده‌های پراکنش گونه‌ای و همچنین تفکیک‌پذیری مکانی داده‌های اقلیمی است (Pearson and Dawson, 2003). داده‌های حضور گونه ممکن است همه زیستگاه‌های ممکن را پوشش ندهند یا از نظر جغرافیایی سوگیری داشته باشند. همچنین، داده‌های اقلیمی با تفکیک‌پذیری پایین ممکن است نتوانند تغییرات ریزاقليمی را در سطح محلی به درستی منعکس کنند، در حالی که این ریزاقليم‌ها می‌توانند به‌عنوان پناهگاه‌های مهم عمل کنند. نیاز به درک عمیق‌تر فیزیولوژی گونه دارد. این پژوهش بر پایه مدل‌سازی پراکنش در مقیاس وسیع استوار است. درک عمیق‌تر از تحمل فیزیولوژیکی *Bromus tomentellus* به تنش‌های گرمایی و خشکی، نیازهای دقیق آبی و چگونگی پاسخ آن به تغییر در چرخه آب و ذوب برف می‌تواند به افزایش دقت پیش‌بینی‌ها و درک کامل‌تری از آسیب‌پذیری آن کمک کند (Kearney and Porter, 2009). با توجه به محدودیت‌های فوق و اهمیت نتایج حاصله، توصیه‌های اجرایی و پژوهشی زیر برای مقابله با چالش‌های تغییر اقلیم و حفاظت از اکوسیستم‌های مرتعی در استان تهران ارائه می‌گردد.

شناسایی و حفاظت از پناهگاه‌های اقلیمی آینده، همانطور که نقشه‌های حاصل از مدل‌ها نشان می‌دهند، مناطقی که به‌عنوان پناهگاه‌های اقلیمی احتمالی (به‌ویژه حاشیه‌های شمالی و شرقی استان تهران با ارتفاعات بالا و شرایط خنک‌تر) شناسایی شده‌اند، باید در اولویت برنامه‌های حفاظتی قرار گیرند. این مناطق می‌توانند زیستگاه‌های حیاتی برای بقای *Bromus tomentellus* و سایر گونه‌های آسیب‌پذیر در آینده باشند. اعمال ممنوعیت چرا، کنترل فرسایش خاک و مدیریت پایدار مراتع در این مناطق ضروری است. پژوهش‌های آتی باید از داده‌های زیست اقلیمی با رزولوشن مکانی بالاتر استفاده کنند تا ریزاقليم‌های پیچیده مناطق کوهستانی بهتر درک شوند (Hijmans et al., 2005). همچنین، تلاش برای گنجاندن عوامل مهمی مانند ویژگی‌های خاک (عمق، بافت، محتوای آلی)، شیب و جهت دامنه، پوشش اراضی فعلی و حتی داده‌های بیوتیکی (مانند حضور گونه‌های رقیب یا همزیست) در مدل‌سازی می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها را به‌طور چشم‌گیری افزایش دهد (Austin, 2007). انجام مطالعات آزمایشگاهی و میدانی بر روی تحمل گونه *Bromus tomentellus* به تنش‌های خشکی و گرمایی، آستانه‌های تحمل آن به تغییرات دما و رطوبت خاک، و چگونگی تأثیر ذوب زودهنگام برف بر چرخه زندگی و تولیدمثل این گونه، می‌تواند به درک بهتری از پاسخ‌های اکولوژیکی آن منجر شود (Walther et al., 2002). این داده‌های فیزیولوژیکی و اکولوژیکی می‌توانند به‌عنوان ورودی‌های ارزشمند در مدل‌های پراکنش گونه‌ای و همچنین برنامه‌های مدیریتی استفاده شوند. ایجاد ایستگاه‌های پایش بلندمدت در ارتفاعات مختلف استان تهران برای ثبت تغییرات در پراکنش *Bromus tomentellus* و سایر گونه‌های مرتعی و همچنین پایش متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی مانند عمق برف، رطوبت خاک و رواناب برای تأیید و کالیبره کردن مدل‌ها و ارزیابی اثربخشی راهبردهای مدیریتی آتی ضروری است (Parmesan, 2006).

تحقیقات بر روی پتانسیل سازگاری تکاملی و تنوع ژنتیکی، بررسی تنوع ژنتیکی درون جمعیت‌های *Bromus tomentellus* در ارتفاعات مختلف می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد ظرفیت سازگاری تکاملی این گونه با شرایط اقلیمی متغیر ارائه دهد (Hoffmann and Sgrò, 2011). جمعیت‌هایی با تنوع ژنتیکی بالاتر ممکن است توانایی بیشتری برای بقا در محیط‌های جدید و تحمل تنش‌های اقلیمی آینده داشته باشند. این بینش می‌تواند راهنمای برنامه‌های حفاظت از ذخایر ژنتیکی باشد. این توصیه‌ها، با تکیه بر دانش اقلیم‌شناسی و بوم‌شناسی، می‌تواند به تقویت بنیه علمی پژوهش‌های آینده و اثربخشی اقدامات حفاظتی در مقابله با چالش‌های تغییر اقلیم کمک شایانی نماید و راه را برای آینده‌ای پایدار برای اکوسیستم‌های مرتعی استان تهران هموار سازد. نقشه‌های حاصل از مدل‌ها، مناطق حساس به تغییر اقلیم و پناهگاه‌های ممکن در آینده گونه‌های منتخب نظیر گونه *Br. tomentellus* را به منظور استفاده در طرح‌های حفاظتی و مرتعی مشخص می‌نمایند. این استراتژی‌ها باید به منظور حفاظت این گونه‌ها در برابر تهدیدهای اقلیمی و به منظور بهبود مقاومت گونه‌های منتخب به کار روند تا حضور این گونه‌های بومی ارزشمند مرتعی در آینده را تضمین کنند.

## منابع

- آزاد، ب.، افضلی، س. ف.، و قنبریان، غ. ع. (۱۳۹۸). مدل‌سازی تاثیر تبدیل پوشش گیاهی و تغییر اقلیم بر دینامیک ذخیره کربن آلی خاک در یک اکوسیستم پیچیده. مدیریت خاک و تولید پایدار، ۹(۱)، ۸۳-۹۹.
- اکبری، م.، و صیاد، و. (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. جغرافیای طبیعی، ۳۵(۱)، ۳۷-۴۷.

- پژمان، ا. (۱۳۹۲). اثرات تغییر اقلیم روی پراکنش مکانی گونه درمنه دشتی در استان تهران با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای (مطالعه موردی: استان تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۱۹ ص.
- جعفریان، ز.، ارزانی، ح.، جعفری، م.، زاهدی، ق.، و آذرنیوند، ح. (۱۳۹۱). تهیه نقشه پیش‌بینی مکانی گونه‌های گیاهی با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: مراتع رینه، کوه دماوند). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۱)، ۴۴(۱)، ۱-۱۸.
- حشمتی، غ. ع.، و کریمیان، و. (۱۳۹۳). پیش‌بینی پراکنش غنای گونه‌های مرتعی به کمک متغیرهای محیطی با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای (SDM). نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، (۱)، ۴۶(۱)، ۳۸-۱.
- خدافلی، م.، صبحی، ر.، بیات، م.، عشوری، ب.، و معتمدی، ج. (۱۴۰۱). اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه *Bromus tomentellus* در زاگرس جنوبی بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم. مرتع و آبخیزداری، (۴)، ۲۹(۴)، ۵۴۱-۵۳۰.
- خورشید دوست، ع. م.، پناهی، ع.، خرم آبادی، ف.، و ایمانی پور، ح. (۱۴۰۱). تاثیر پارامترهای اقلیمی بر توزیع پوشش گیاهی در ایران مرکزی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، (۲)، ۹(۲)، ۸۶-۷۳.
- طیموریاصل، س.، نقی‌پور، ع. ا.، اشرف‌زاده، م.، ر.، و حیدریان آقاخانی، م. (۱۳۹۹). پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه زرد (*Astragalus verus* Olivier) در زاگرس مرکزی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی). کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، (۲)، ۱۱(۲)، ۸۵-۶۸.
- صفایی، م.، ترکش، م.، و بصیری، م. (۱۳۹۲). تهیه منحنی‌های پاسخ گونه گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) نسبت به شیب تغییرات محیطی با استفاده از روش None Parametric Multiplicative Regression در منطقه فریدون‌شهر استان تهران. گیاه و زیست بوم، (۱)، ۳۶(۱)، ۶۴-۵۳.
- مظفریان، و. ا.، میر وکیلی، م.، و برزگری، غ. ر. (۱۳۷۹). فلور استان یزد. تهران: انتشارات فرهنگ معاصر. ۶۳۶ ص.
- معتمدی، ج.، و خدافلی، م. (۱۴۰۱). پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *Bromus tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی البرز جنوبی، استان قزوین. مرتع و آبخیزداری، (۲)، ۷۵(۲)، ۳۱۹-۳۲۲.
- معتمدی، جواد، خدافلی، م.، و خلیفه‌زاده، ر. (۱۴۰۱). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر گستره آینده گونه *Stipa barbata* در منطقه البرز جنوبی. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۲)، ۲۲-۱۳.
- ناطق، س.، خدافلی، م.، و سوری، م. (۱۴۰۳). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه‌های مهم مرتعی استان البرز بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۳)، ۳۱(۳)، ۳۰۱-۳۲۲.
- نظری، س.، جعفریان، ز.، علوی، س. ج.، و نقی‌پور، ع. ا. (۱۴۰۰). تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه داروئی آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* (Boiss and Hohen) با بهره‌گیری از مدل‌سازی ترکیبی. مدیریت بیابان، (۳)، ۹(۳)، ۱-۱۶.
- Abolmaali, S. M. R., Torkesh Esfahani, M., and Boshri, H. (2017). Assessing impacts of climate change on endangered *Kelussia odoratissima* Mozaff species distribution using Generalized Additive Model. *Journal of Natural Environment*, 70(2), 243-254.
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecological modelling*, 200(1-2), 1-19.
- Beaumont, L. J., Hughes, L., and Poulsen, M. (2005). Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological modelling*, 186(2), 251-270.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 20(1), 37-46. 46002000104
- Dalmaris, E., Ramalho, C. E., Poot, P., Veneklaas, E. J., and Byrne, M. (2015). A climate change context for the decline of a foundation tree species in south-western Australia: insights from phylogeography and species distribution modelling. *Annals of Botany*, 116(6), 941-952.
- Elith, J., and Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 677-697.
- 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.
- Franklin, J. (2010). *Mapping species distributions: Spatial inference and prediction*. Cambridge University Press.
- Guisan, A., and Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2-3), 147-186.
- Guisan, A., Thuiller, W., and Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models: with applications in R*. Cambridge University Press.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., and Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978.
- Hoffmann, A. A., and Sgrò, C. M. (2011). Climate change and evolutionary adaptation. *Nature*, 470(7335), 479-485.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, W.T. Moufouma-Okia, P. O'Connor, J. Petzold, B. Zima, & B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press.
- Karim, M. H., Shahraki, A. S., Ghalesard, S. K., and Fahimi, F. (2020). Management challenges and adaptations with climate change in Iran forests. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(1), 81-91.
- Kearney, M., and Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology letters*, 12(4), 334-350.
- Ngoy, K. I., 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.
- Onoz, B., and Bayazit, M. (2003). The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27, 247-251.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669.

- Pearson, R. G., and Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12(5), 361-371.
- Reidsma, P., Frank, E., Qude Landsink, A., and Leemans, R. (2009). Vulnerability and adaptation of European farmers: a multi-level analysis of yield and income responses to climate variability. *Regional Environmental Change*, 9, 25-40.
- Robert, J., Hijmans, S., and Athe, R. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12, 2272-2281.
- Saboohi, R., Soltani, S., and Khodaghali, M. (2012). Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 529-547.
- 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.
- Souri, M., Khodaghali, M., Nateghi, S., Kamali, N., Ashouri, P., and Saboohi, R. (2024). Prediction of Climatic Ecological Nest of *Artemisia aucheri* Boiss in the Capital of Iran Based on Modeling. *Journal of Rangeland Science*, 14(2), 1-11.
- Thuiller, W. (2007). Biodiversity: Climate change and the ecologist. *Nature*, 448, 550-552.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Guldberg, O., and Bairlein, F. (2002). Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature*, 416(6879), 389-395.
- Yu, P. S., Yang, T. C., and Kuo, C. C. (2006). Evaluating long-term trends in annual and seasonal precipitation in Taiwan. *Water Resources Management*, 20, 1007-1023.

## Consequences of Climate Change on the Current and Future Geographical Distribution of *Bromus tomentellus* Boiss. (Case Study: Tehran Province)

Mahshid Souri<sup>\*1</sup>, Mina Bayat<sup>2</sup>, Morteza Khodaghali<sup>3</sup>, Saeedeh Nateghi<sup>1</sup>



### Research Article

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

[souri@rifr-ac.ir](mailto:souri@rifr-ac.ir)

\* Corresponding author

[Nateghi@rifr-ac.ir](mailto:Nateghi@rifr-ac.ir)

2. Research expert, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

[Bayat@rifr-ac.ir](mailto:Bayat@rifr-ac.ir)

3. Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

[khodaghali@rifr-ac.ir](mailto:khodaghali@rifr-ac.ir)

**Article Code:** 2505-1104

**Continous Pagination:** 787-802

**Received:** 17 May 2025

**Accepted:** 11 August 2025

**Online:** 27 August 2025

**Review speed:** 87 days

### Citation:

Souri, M., Bayat, M., Khodaghali, M., and Nateghi, S. (2024). Consequences of Climate Change on the Current and Future Geographical Distribution of *Bromus tomentellus* Boiss. (Case Study: Tehran Province). *Management of Natural Ecosystems*, 4(2), 44-59.

### Abstract

Since climate change plays a vital role in changing the structure of natural ecosystems, it is necessary to study its occurrence in greater detail. The present study was conducted to map the current distribution and potential future distribution (over the next three decades) of *Bromus tomentellus*, based on two climate warning scenarios: an optimistic scenario (RCP 4.5) and a pessimistic scenario (RCP 8.5), as well as to assess its latitudinal displacement across the rangelands of Tehran Province. First, using data from synoptic stations located within Tehran Province and its adjacent areas, a database was compiled containing variables such as precipitation, night temperature, daily temperature, and average temperature and 19 climate metrics were calculated. Also, using a digital elevation model with a spatial resolution of 30 meters, three physiographic variables including slope, aspect, and elevation were extracted. Then, using the updated maps of the ecological zone identification plan and field visits, the presence and absence points of the species *Bromus tomentellus* Boiss were identified. Using logistic regression, the distribution of this species in the studied area was analyzed and modeled using SPSS software, and then the maps were generated in the Arc GIS software environment. To prepare the current distribution map of *Bromus tomentellus*, data from meteorological stations were used, and then, based on data extracted from the WorldClim database, a future distribution map of *Bromus tomentellus* Boiss was produced for the year 2050 under optimistic (RCP 4.5) and pessimistic (RCP 8.5) climate scenarios. The modeling results in the present study indicated that *Bromus tomentellus* species currently located at elevations between 1600-2700 meters, while in the 4.5 (optimistic) and 8.5 (pessimistic) scenarios it is at an altitude above 2500 meters and its area will be reduced, especially in the pessimistic scenario, and will be extended to the northern and eastern margins. While in the current conditions, it is observed in the central parts of Tehran province, which are situated at elevations between approximately 1600 and 2700 meters. Therefore, the study of the distribution of the *Bromus tomentellus* species under the pessimistic scenario, which predicts the most severe climate changes, suggesting that the species' range will shift higher elevations to compensate for rising temperatures.

### Key Words:

optimistic scenario, pessimistic scenario, Forecast, Modeling, rangeland species.