DOI: 10.22092/irn.2023.128386

دیدگاه

اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه *Bromus tomentellus*

مرتضی خداقلی*[1]، جواد معتمدی[2]، راضیه صبوحی[3]، مینا بیات[4]، پروانه عشوری[5]

مقدمه

اهمیت اقلیم در توزیع و پراکنش گیاهان، از دیرباز کاملاً شناخته شده است و تجزیه و تحلیل ارتباط گونه‌های گیاهی با عوامل اقلیمی، از موضوعات با قدمت بالا در مباحث بوم‌شناسی است (Walter, 1985). تأثیر اقلیم به‌عنوان مهم‌ترین عامل پراکنش موجودات و به‌ویژه گیاهان، به‌دلیل سکون آنها توسط همه اکولوژیست‌ها و اقلیم‌شناسان تأیید شده است (Kosanic *et al.*, 2018). بررسی‌های پالئوبتانیک نیز بر این موضوع تأکید می‌کند که اقلیم بر پراکنش گیاهی مؤثر است و مرزهای پراکنش جوامع گیاهی با تغییر اقلیم جابه‌جا شده است (Zwicke *et al.*, 2015 ؛ Dalmaris *et al.*, 2015؛ Woodward, 1987, 1988). به‌همین دلیل، تجزیه‌وتحلیل ارتباط بین اقلیم و الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی، به‌عنوان موضوعی بحث‌برانگیز طی سالیان دراز در محافل علمی و پژوهشی جغرافیای زیستی مطرح بوده است (Brovkin *et al.*, 1997).

فرضیه اساسی در بوم‌شناسی گیاهی این است که اقلیم مهم‌ترین عامل در پراکنش و جابه‌جایی جوامع گیاهی است. نگاهی گذرا به نقشه‌های اقلیم و پوشش گیاهی، ارتباط بسیار نزدیکی را میان دو پراکنش نشان می‌دهد. چگونگی پراکنش گونه‌ها در یک جامعه گیاهی، براساس تفاوت‌های فیزیولوژیک آنها و تحت تأثیر نوع خاک، توپوگرافی، تغییرات کاربری، معدن‌کاوی، فاصله از کانون‌های بحران و به‌عبارتی آشفتگی‌های محیطی شکل می‌گیرد، درواقع، واکنش گیاه به اقلیم علت قطعی حضور آن در یک محیط به‌شمار می‌رود (Kosanic, *et al.*, 2018؛ Woodward, 1987).

به‌طورکلی، متناسب با تغییر عرض جغرافیایی، محدودیت عناصر اقلیمی بیشتر می‌شود، پوشش گیاهی نیز تقریباً به همین گونه تغییر می‌کند (Woodward & Rochefort, 1991). به‌طوری‌که در بسیاری از مطالعات، بر محدودیت گسترش گونه و جوامع گیاهی به سوی قطب تأکید شده است (Woodward & Williams 1987) به‌عبارت بهتر گوناگونی تاکزونومیک و تنوع‌گونه‌ای، از استوا به سوی قطب، کاهش می‌یابد. این فرضیه، با تغییر شمار تیره‌های نهان‌دانگان (Heywood, 1979) و بازدانگان (Hora, 1981) با عرض جغرافیایی آزمون شده است.

طبق بررسی‌های انجام‌شده، در هر دو نیمکره شمالی و جنوبی، بیشترین گوناگونی تیره‌ای، در نزدیک استوا دیده می‌شود و این گوناگونی، به‌طور چشمگیری از عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۹۰ درجه کاهش می‌یابد. همین الگو، برای گوناگونی گونه‌ها نیز ممکن است مشاهده شود و کوچ جمعیت‌های گیاهی را از عرض‌های پایین به سمت عرض‌های بالا مطرح کند.

طبق بررسی‌های انجام‌شده، در هر دو نیمکره شمالی و جنوبی، بیشترین گوناگونی تیره‌ای، در نزدیک استوا دیده می‌شود و این گوناگونی، به‌طور چشمگیری از عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۹۰ درجه کاهش می‌یابد. همین الگو، برای گوناگونی گونه‌ها نیز ممکن است مشاهده شود و کوچ جمعیت‌های گیاهی را از عرض‌های پایین به سمت عرض‌های بالا مطرح کند. در این ارتباط، همواره این سؤال مطرح است، چرا گستره برخی از گونه‌ها در واکنش به تغییرات اقلیمی توسعه می‌یابد، درحالی‌که گستره برخی دیگر، ثابت می‌ماند، یا حتی کمتر می‌شود؟

یکی از مهم‌ترین مناطق برای بررسی کوچ گیاهان، مرزهای اکولوژیک و رویشگاهی یک ناحیه ویژه پراکنش نظیر مرز خطوط ارتفاعی یا عرض جغرافیایی است. اگر آستانه‌های مرتبط با شیب تغییرات محیطی و اکولوژیک، علت محدودیت

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران،
پست الکترونیک: m_khodagholi@yahoo.com
۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳- کارشناس پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پراکنش گونه‌ها و جوامع گیاهی باشد و بتوان مدارکی برای این مکانیسم‌ها تهیه کرد که توسط آنها گونه‌ها گستره خود را تعدیل کنند، چنین مرزی ممکن است به تغییرات اقلیمی، بسیار حساس باشد. در این شرایط، می‌توان تغییرات پوشش‌های گیاهی را در عرض‌های جغرافیایی متفاوت بررسی کرد و به این سؤال پاسخ داد، تا چه اندازه اقلیم، در مهار عمودی و افقی تنوع گیاهی مهم است؟ (Woodward, 1987؛ Woodward & Williams, 1987).

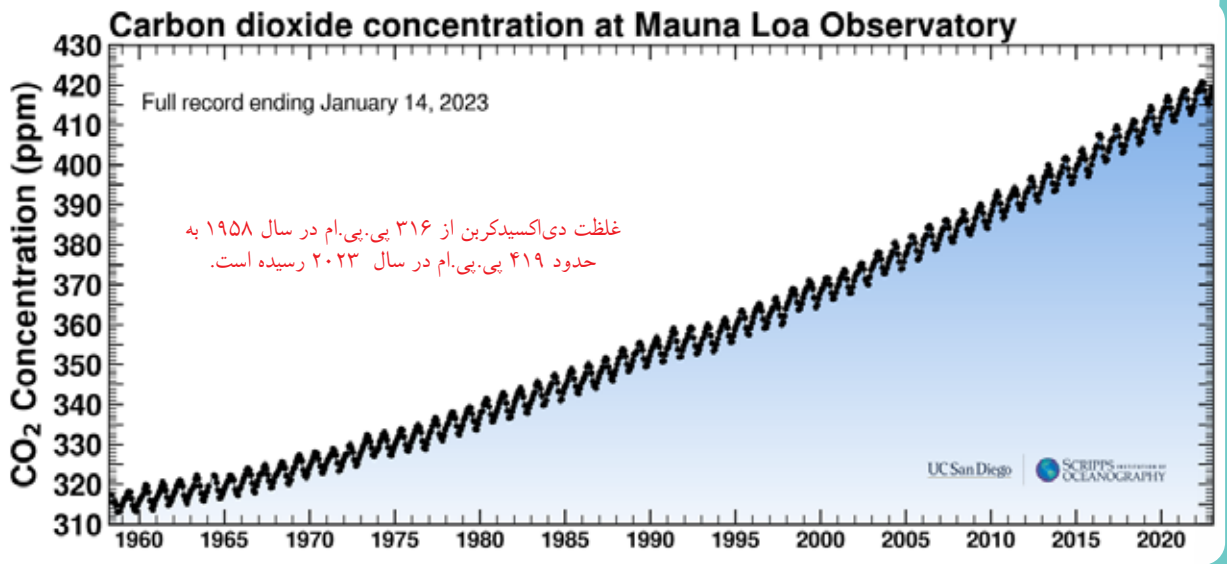
یکی از عوامل مؤثر بر توزیع و پراکنش گونه‌های گیاهی و تغییر رویشگاه‌های گیاهان، که از مهم‌ترین چالش‌های جامعه جهانی در قرن بیست و یکم به‌شمار می‌رود، افزایش گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم و گرمایش جهانی است. گستردگی، سرعت، شدت و عمق اثرگذاری آن به‌نحوی است که به‌عنوان یکی از موضوعات مهم پژوهشی در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی مورد کنکاش قرار گرفته است (Dalmaris *et al*., 2015).

براساس تعریف IPCC (۲۰۰۷)، تغییر اقلیم عبارت است از تغییر بی‌بازگشت در متوسط شرایط آب‌وهوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت‌شده در آن منطقه مورد انتظار است. در تعاریف تخصصی اقلیم‌شناسی، تغییر اقلیم با منشأ انسانی با تغییرات طبیعی اقلیم که طی دوره‌های طولانی اتفاق می‌افتد، متفاوت است. در تعریف سازمان ملل منظور از تغییر اقلیم، تغییری است که مستقیم یا غیرمستقیم به دخالت انسان از طریق افزایش گازهای گلخانه‌ای مربوط است. هر کدام از گازهای گلخانه‌ای به‌نوعی در افزایش دمای زمین مؤثرند. بنابراین، در مطالعات تغییر اقلیم، تغییرات کاهشی یا افزایشی این گازها از قرن‌های پیش تاکنون مطالعه می‌شود. درنهایت، آنچه مورد توجه دانشمندان است و به تغییر اقلیم در دویست سال اخیر مربوط می‌شود، افزایش گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساخت در جو زمین است که به فعالیت‌های بشر مرتبط است (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۹).

افزایش گازهای گلخانه‌ای درنتیجه فعالیت‌های بشر، از یک سو و تخریب جنگل‌ها و مراتع و تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر، باعث بر هم خوردن بیلان ورودی و خروجی درجه حرارت متوسط زمین شده است. در حقیقت، صدها سال تابش خورشید به‌صورت طول موج‌های کوتاه به زمین می‌رسید و با گرم شدن کره زمین به‌صورت امواج بلند از جو زمین خارج می‌شد. با افزایش گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4)، دی‌اکسیدنیتروژن (NO_2)، هیدروفلوئورو کربن‌ها (HFCs) و پروفلوئورو کربن‌ها (PFCs)، این تعادل، به هم خورده و سبب گرم‌تر شدن تدریجی کره زمین شده است. بررسی روند تغییرات دی‌اکسیدکربن به‌عنوان معرف گازهای گلخانه‌ای که درنتیجه فعالیت‌های بشر، با احتراق سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود، نشان می‌دهد تا قبل از انقلاب صنعتی، به مدت حدود ۱۰۰۰۰ سال، مقدار آن در جو ثابت و معادل ۲۷۰ ppm است، ولی پس از انقلاب صنعتی، افزایش یافته و به‌تدریج، شیب این افزایش شدیدتر شده است، به‌طوری‌که از سال ۱۹۵۸ از ۳۱۶ ppm به رقم نگران‌کننده ۴۱۷ ppm در سال ۲۰۲۰ رسیده است (شکل ۱).

کره زمین در دوره معاصر زمین‌شناسی، بارها گرما و برودت زیاد را تجربه کرده است و طی ۲/۵ میلیون سال گذشته، ۲۲ دوره یخبندان را، درنتیجه کاهش دما و بین یخبندان را درنتیجه افزایش دما داشته است. بنابراین، طی این مدت، درجه حرارت کره زمین، چندین درجه سانتی‌گراد، افزایش و کاهش یافته است (Bytnerowicz *et al*., 2007)، اما آنچه گرمایش فعلی کره زمین را با گذشته متمایز می‌کند، اثرات مخرب بشری است.

درجه حرارت، به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان شاخص گرم شدن کره زمین استفاده می‌شود (Ray *et al*., 2019). منابع و گزارش‌های علمی، نشان می‌دهند، در ۱۰۰ سال اخیر، میانگین دمای جهانی حدود یک



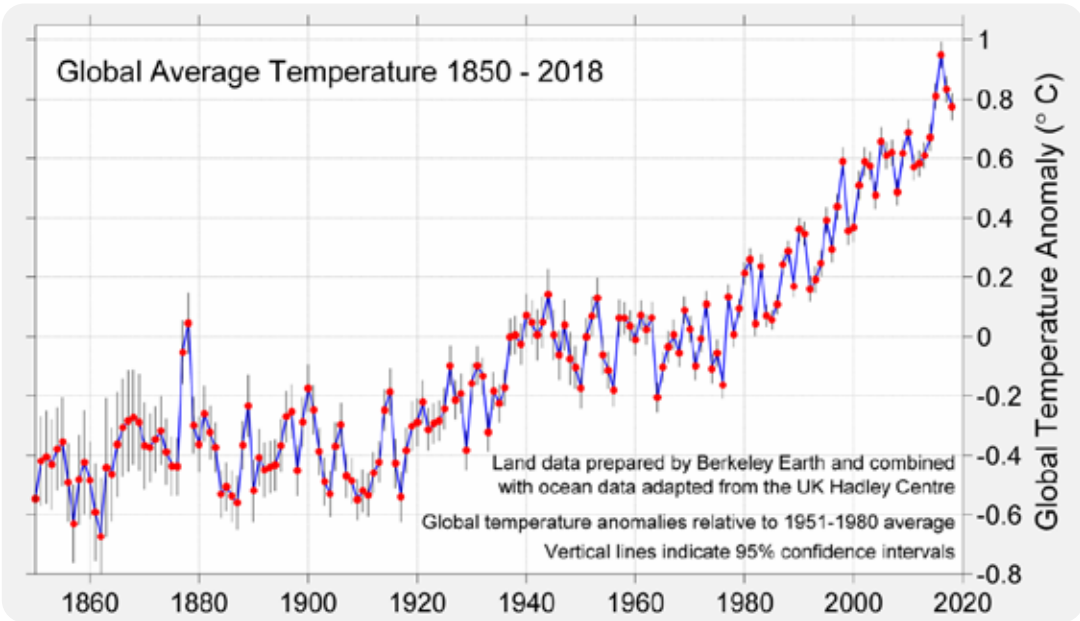
شکل ۱- تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن در ۶۲ سال گذشته

درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (شکل ۲)، درحالی‌که بررسی‌های انجام‌شده توسط نگارندگان نشان می‌دهد، متوسط دمای سالانه ایستگاه‌های کشور در همین بازه زمانی، بیش از ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. مقایسه افزایش درجه حرارت متوسط کره زمین، با گستره ایران زمین نشان می‌دهد ایران، بیش از چهار برابر متوسط کره زمین، گرم‌تر شده است. گزارش‌های سازمان هواشناسی نیز نشان می‌دهند، در ۵۰ سال اخیر، افزایش درجه حرارت، معادل ۰/۴ درجه افزایش به ازای هر دهه بوده است (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۶).

تغییرات بارش نیز حاکی از کاهش سالانه در برخی ایستگاه‌ها بوده است. براساس پژوهش‌های موجود، بیشترین کاهش بارش، در منطقه زاگرس و شمال غرب کشور رخ داده است. منطقه زاگرس، علاوه‌بر بیشترین کاهش، با بیشترین افزایش دما نیز مواجه بوده است. تنها منطقه‌ای که احتمال افزایش بارش در آن وجود دارد، جنوب شرق کشور است ولی رفتار بارش‌ها در این منطقه به‌صورت ناگهانی و سیل‌آسا پیش‌بینی می‌شود. افزون بر این، تبخیر و تعرق پتانسیل (نیاز آبی بالقوه)، با شیب ۵/۴ میلی‌متر بر دهه افزایش یافته است. از سال ۱۳۸۴ تاکنون، نمایه خشک‌سالی دهه‌ای کشور منفی بوده و کشور با خشک‌سالی انباشته روبه‌رو بوده است. تعداد ساعات آفتابی، به‌طور میانگین، ۱۱ ساعت بر سال افزایش یافته است. میانگین سرعت باد در بسیاری از نقاط کشور به‌ویژه در شهرهای بزرگ، علاوه‌بر نوسانات شدید دارای روند کاهشی نیز بوده است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶).

نتایج منفی این تغییرات، منجر به کاهش مقاومت گونه‌های گیاهی و توان ماندگاری آنها و درنتیجه کاهش تنوع زیستی شده است. پیش‌بینی شده است، با افزیش ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد به متوسط دمای کره زمین، ۲۰ تا ۳۰ درصد گونه‌های گیاهی و جانوری در خطر نابودی قرار خواهند گرفت (F.A.O., 2007). همچنین، جذب کربن، توسط اکوسیستم‌ها تا نیمه قرن بیست و یکم افزایش می‌یابد، سپس تضعیف، یا معکوس می‌شود، اکوسیستم‌ها، نه‌تنها قادر به جذب دی‌اکسیدکربن نمی‌شوند، بلکه باعث رها شدن آن به داخل جو خواهند شد و تغییر اقلیم را تشدید خواهند کرد (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۹).

تغییرات یادشده، کاهش چشمگیر پهنه‌های اقلیم مرطوب و افزایش اقلیم خشک و درنتیجه کاهش شدید رطوبت در عرصه‌های طبیعی را به‌دنبال خواهند داشت. این موضوع نیز منجر به کاهش جوانه‌زنی بذور، کاهش شادابی گونه‌ها، کاهش فلور میکروبی خاک، کاهش کیفیت خاک و درنتیجه، زوال گونه‌ها و افزایش روند بیابان‌زایی خواهد شد. از طرفی، تغییرات یادشده و در رأس آنها، کاهش رطوبت در اکوسیستم‌های طبیعی، سبب افزایش وقوع آتش‌سوزی‌های طبیعی در عرصه‌های مرتعی و جنگلی شده است. این مناطق، همچنین در معرض افزایش آفات و امراض قرار می‌گیرند و به‌تدریج از وسعت آنها کاسته می‌شود. کم‌بارشی و بروز خشک‌سالی، سبب حذف برخی پهنه‌ها و اکوسیستم‌های آبی (چشمه‌ها، مانداب‌ها، باتلاق‌ها، دریاچه‌ها) و عرصه‌های مرتعی و جنگلی شده است که پیامد حذف این عرصه‌ها، موجب وقوع سیل پس از بارش‌های اندک خواهد شد (جلیلی، ۱۴۰۰). درنهایت، افزایش دما، موجب کاهش ضریب آسایش زیست‌اقلیمی می‌شود و برخی گونه‌های گیاهی و جانوری، که توان سازگاری را با تغییر اقلیم ندارند، از زیستگاه دائمی خود مهاجرت می‌کنند یا به‌تدریج از بین می‌روند. در این میان، بعضی از اکوسیستم‌ها نظیر مناطق مرتفع و آلپی، به تغییرات اقلیمی حساسند و شرایط را برای تشخیص زودهنگام و مطالعه سیگنال‌های تغییر اقلیم فراهم می‌کنند. این اکوسیستم‌ها، دارای اقلیم سرد هستند و به‌دلیل تغییرات توپوگرافی شدید و اثر آنها بر پارامترهای اقلیمی (بارش و دما) تمایل زیادی به تغییر در توزیع گونه‌ای دارند (Fer-rarini et al., 2014).



شکل ۲- تغییرات درجه حرارت متوسط کره زمین

نتایج آشکارسازی تغییرات پارامترهای اقلیمی، بیانگر آن است که تغییرات اقلیمی در ایران شروع شده است و ضروری است، رویشگاه بالقوه گونه‌های شاخص و عناصر اصلی جوامع گیاهی، در حال حاضر و سال‌های آینده، با استفاده از مدل‌های ریاضی و سناریوهای اقلیمی مشخص شود. در این ارتباط، باید بررسی شود، اثر افزایش دمای رخ‌داده در سطح کشور بر حضور گونه‌ها در رویشگاه‌های محل پراکنش مثبت است یا منفی.

طبیعی است برای پاسخ به این سؤال، باید با مدل‌سازی، نقشه پیش‌بینی رویشگاه هر یک از گونه‌ها، در حال حاضر و سال‌های آینده، تهیه و با مقایسه مساحت احتمال حضور گونه در کلاس/ طبقات مختلف، نسبت به این موضوع قضاوت شود. براین‌اساس، بخش تحقیقات مرتع مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر گونه‌های مختلف مرتعی طرح ملی «ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه‌های مهم مرتعی ایران بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم» را در سال ۱۳۹۸ بررسی و تصویب کرد. یکی از گونه‌های مهمی که در این پژوهش بررسی شد، گونه *Bromus tomentellus* است (شکل ۳). این گونه، از گونه‌های شاخص گون‌زارها و درمنه‌زارهای مرتفع محسوب می‌شود و پراکنش وسیعی در سطح کشور دارد.

در این رابطه، ابتدا پایگاهی مرکب از داده‌های اقلیمی ۱۶۳ ایستگاه سینوپتیک کشور با بازه آماری بیش از ۲۰ سال، همچنین متغیرهای ترکیبی (بایوها/ سنجه‌های اقلیمی) از سایت Worldclime.ir برای زمان حاضر و سال ۲۰۵۰ در قالب دو سناریوی خوش‌بینانه (Rcp4.5) و بدبینانه (Rcp8.5) تشکیل شد. با استناد به نقشه‌های طرح شناخت مناطق اکولوژیک کشور (مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور) و بازدیدهای میدانی، نقشه حضور این گونه، تهیه و با به‌کارگیری بایوهای محاسبه‌شده و مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک، رفتار این گونه نسبت به متغیرهای اقلیمی، محاسبه و در محیط GIS تبدیل به نقشه شد. صحت نقشه‌های ترسیم‌شده با مقایسه نقشه واقعی و نقشه مدل‌سازی‌شده و محاسبه ضریب کاپا آزمون و تأیید شد. سنجه‌های اقلیمی در قالب دو سناریوی Rcp4.5 و Rcp8.5 برای سال ۲۰۵۰، در معادله رگرسیون لجستیک محاسبه‌شده مرحله قبل قرار گرفت و این اطلاعات، تبدیل به نقشه‌های پیش‌بینی رویشگاه گونه *B. tomentellus* در سال ۲۰۵۰ شد.

شکل ۳- گونه *B. tomentellus* در رویشگاه طبیعی

اثرات تغییر اقلیم، بر پراکنش گونه *Bromus tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی

الف) دامنه اکولوژیک سنجه‌های محیطی مؤثر بر گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus*

جدول ۱ میانگین متغیرهای فیزیوگرافی و بایوها را در رویشگاه‌های گونه *B. tomentellus* نشان می‌دهد. مطابق با اطلاعات به‌دست‌آمده، متوسط وزنی ارتفاع رویشگاه‌های این گونه، در شرایط کنونی و در قالب سناریوهای Rcp4.5 و Rcp8.5 به‌ترتیب معادل ۲۰۵۲، ۲۱۰۸ و ۲۳۲۰ متر است. در حقیقت، ارتفاع متوسط رویشگاه این گونه در سناریوی بدبینانه، به‌طور متوسط نزدیک به ۲۷۰ متر، افزایش یافته است. همچنین، میانگین دمای سالانه در رویشگاه‌های مناسب گونه *B. tomentellus* (جدول ۱)، در دهه‌های آینده، ۰/۸ تا ۲/۰ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. با توجه به مقادیر یادشده می‌توان اظهار داشت، گونه *B. tomentellus* در محدوده ارتفاعی ۲۳۰۰ متر در سال ۲۰۵۰ از احتمال رخداد بیشتری برخوردار است.

اگرچه، تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش دما در بیش از ۸۹درصد از ایستگاه‌های کشور، معنی‌دار است، تأثیر آن بر بارش تقریباً ناچیز است. به‌طوری‌که در بیش از ۹۲درصد از ایستگاه‌ها، تغییرات بارش فاقد روند مشخصی است (خداقلی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین، تغییرات بارش در رویشگاه‌های گونه *B. tomentellus* در سال ۲۰۵۰، حدود پنج میلی‌متر کاهش خواهد یافت. ازاین‌رو، به نظر می‌رسد، آنچه باعث تغییر رویشگاه‌های این گونه شده، افزایش درجه حرارت است. درمجموع، بررسی‌ها بیانگر آن است که هر چه شاخص‌های دمایی افزایش یابد، تناسب رویشگاه برای حضور گونه در آینده کمتر خواهد شد.

ب) نقشه پیش‌بینی گستره کنونی و آینده

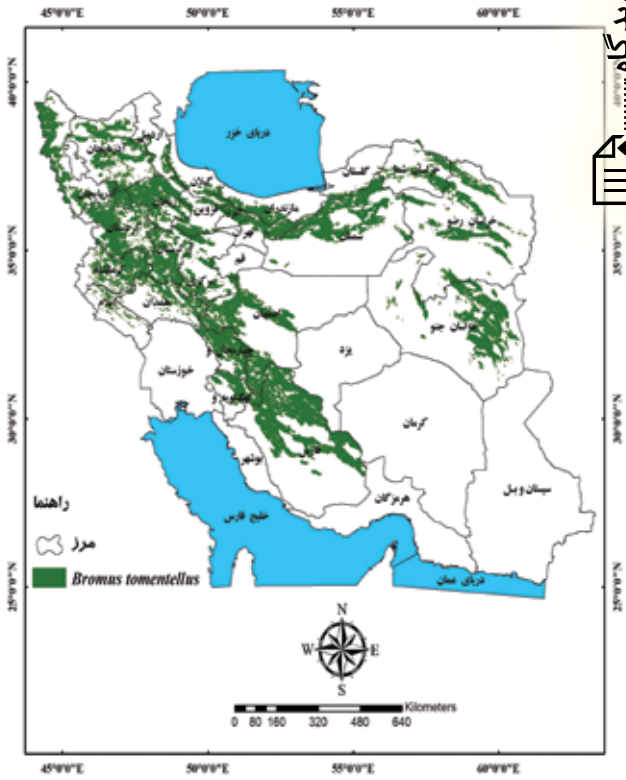
با استناد به نقشه‌های پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *B. tomentellus*، در قالب سناریوهای Rcp4.5 و Rcp8.5 (شکل‌های ۵ تا ۷)، سطح رویشگاه مناسب گونه *B. tomentellus* (مناطقی با احتمال وقوع بیشتر از ۷۵درصد)، در حال حاضر، ۴۴۴۸۸۵۰ هکتار است که حدود ۲۷/۳درصد از کل رویشگاه‌های مرتعی در سطح کشور را به خود اختصاص داده است. همچنین، سطح رویشگاه مناسب این گونه با توجه به نقشه‌های پیش‌بینی برای سال ۲۰۵۰ در قالب دو سناریوی Rcp4.5 و Rcp8.5، به‌ترتیب ۲۰۶۳۱۰۴۵ و ۴۸۰۶۹۰۰ هکتار است

جدول ۱- میانگین سنجه‌های محیطی در رویشگاه‌های مناسب (احتمال وقوع بیشتر از ۷۵درصد) گونه *B. tomentellus* در قالب سناریوهای اقلیمی

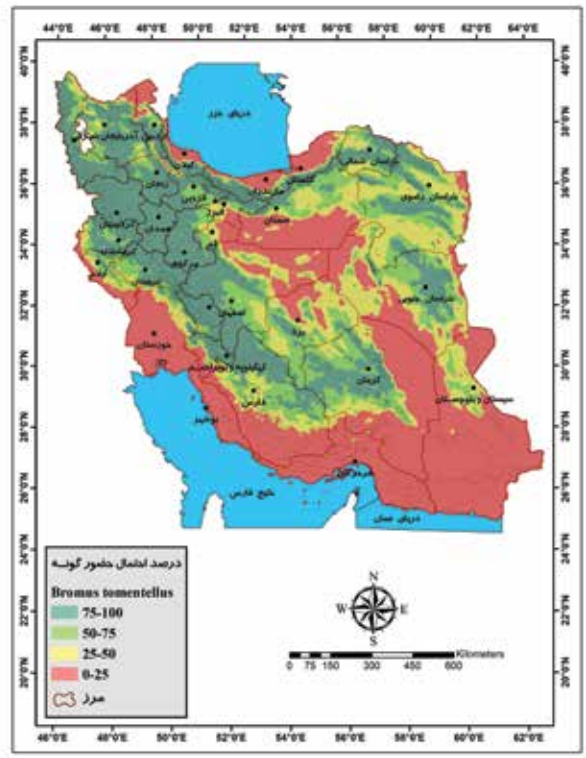
سنجه‌های محیطی	گستره کنونی (حال حاضر)	گستره بالقوه آینده (Rcp4.5)	گستره بالقوه آینده (Rcp8.5)
ارتفاع	۲۰۵۲/۲	۲۱۰۸/۳	۲۳۲۰/۵
شیب	۲۲/۱	۲۳/۲	۲۴/۲
جهت	۱۷۵/۶	۱۷۵/۴	۱۷۷/۳
میانگین دمای سالانه (BIO_1)	۱۱/۰	۱۱/۸	۱۳/۰
دمای حداقل و حداکثر ماهانه (دمای حداکثر- دمای حداقل) (BIO_2)	۱۳/۵	۱۳/۶	۱۳/۷
هم‌دمایی ۱۰۰× (BIO_2/BIO_7) (BIO_3)	۳۵/۰	۳۵/۰	۳۵/۱
دمای فصلی (انحراف معیار×۱۰۰) (BIO_4)	۹۱۸/۰	۹۴۵/۴	۹۷۳/۹
حداکثر دمای گرم‌ترین ماه (BIO_5)	۳۱/۵	۳۲/۴	۳۴/۲
حداقل دمای سردترین ماه (BIO_6)	-۷/۰	-۶/۱	-۴/۸
دامنه دمای سالانه (BIO_5-BIO_6) (BIO_7)	۴/۵	۳۸/۸	۳۹/۰
میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (BIO_8)	۴/۳	۳/۴	۴/۴
میانگین دمای خشک‌ترین فصل (BIO_9)	۲۱/۶	۲۲/۷	۲۴/۴
میانگین دمای گرم‌ترین فصل (BIO_{10})	۲۲/۲	۲۳/۸	۲۴/۹
میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11})	-۰/۵	۰/۰۲	۱/۱
بارندگی ماهانه (BIO_{12})	۳۱۴/۱	۳۱۳/۰	۳۰۸/۷
بارندگی مرطوب‌ترین ماه (BIO_{13})	۵۸/۴	۵۷/۵	۵۲/۹
بارندگی خشک‌ترین ماه (BIO_{14})	۲/۵	۲/۵	۲/۵
بارندگی فصلی (ضریب تغییرات) (BIO_{15})	۷۵/۱	۷۳/۵	۷۲/۶
بارندگی مرطوب‌ترین فصل (BIO_{16})	۱۵۱/۳	۱۴۹/۷	۱۴۳/۴
بارندگی خشک‌ترین فصل (BIO_{17})	۱۰/۶	۱۰/۵	۱۰/۴
بارندگی گرم‌ترین فصل (BIO_{18})	۱۴/۳	۱۴/۸	۱۳/۴
بارندگی سردترین فصل (BIO_{19})	۱۱۳/۲	۱۱۵/۶	۱۲۱/۴

جدول ۲- مساحت طبقات نقشه پیش‌بینی گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و سال ۲۰۵۰ در قالب سناریوهای اقلیمی

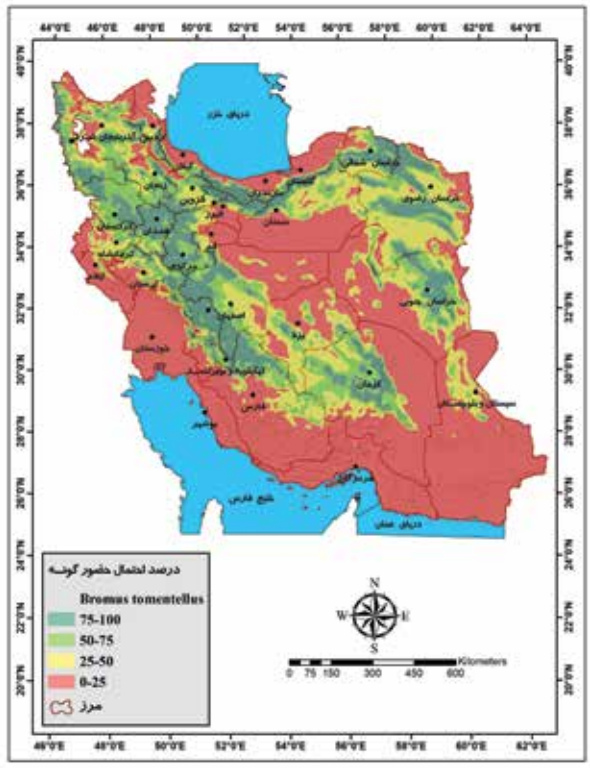
احتمال وقوع گونه (درصد)	تناسب رویشگاه	گستره کنونی (حال حاضر)		گستره آینده در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوی Rcp4.5		گستره آینده در سال ۲۰۵۰ تحت سناریوی Rcp8.5	
		مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
بیشتر از ۷۵	زیاد	۴۴۴۸۸۵۰۰	۲۷/۳	۲۰۶۳۱۰۴۵	۱۲/۷	۴۸۰۶۹۰۰	۳/۰
۵۰-۷۵	متوسط	۲۷۲۰۹۹۰۰	۱۶/۷	۲۵۲۹۴۹۱۳	۱۵/۵	۱۶۳۹۲۰۰۰	۱۰/۱
۲۵-۵۰	کم	۲۷۶۹۴۶۰۰	۱۷/۰	۲۹۶۰۶۱۷۳	۱۸/۲	۱۹۶۴۳۶۰۰	۱۲/۱
کمتر از ۲۵	نامناسب	۶۳۴۸۳۴۰۰	۳۹/۰	۸۳۵۲۲۳۹۶	۵۱/۳	۱۲۲۰۳۴۳۰۰	۷۴/۹



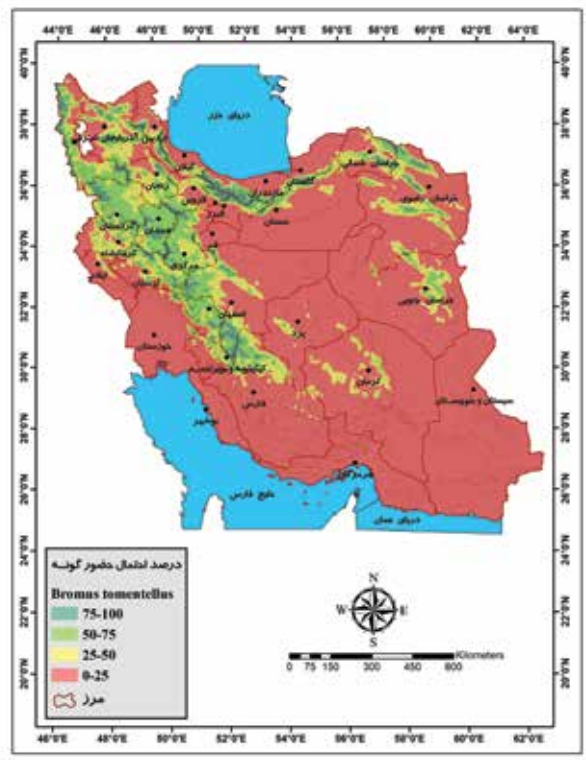
شکل ۴- مناطق حضور گونه *B. tomentellus*



شکل ۵- برآورد مدل گستره حال حاضر گونه *B. tomentellus*



شکل ۶- پیش‌بینی گستره گونه *B. tomentellus* در سال ۲۰۵۰ در قالب مدل هشدار اقلیمی $Rcp_{4.5}$



شکل ۷- پیش‌بینی گستره گونه *B. tomentellus* در سال ۲۰۵۰ در قالب مدل هشدار اقلیمی $Rcp_{8.5}$

که شامل حدود ۱۲/۷ و ۳/۰ درصد از کل رویشگاه‌های مرتعی می‌شود. به‌این‌ترتیب، در قالب سناریوی‌های اقلیمی، ۵۳/۵ تا ۸۹ درصد از رویشگاه‌های آب‌وهوایی مناسب خود را در سال ۲۰۵۰ از دست خواهد داد و رویشگاه‌های نامناسب فعلی نیز ۳۱/۵ تا ۹۲ درصد افزایش خواهد یافت (جدول ۲). درمجموع، مساحت مربوط به طبقاتی که احتمال حضور گونه *B. tomentel-lus* در آنها بیشتر است، در سال ۲۰۵۰ نسبت به امروز، کاهش زیادی خواهد یافت.

جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها

گرمایش جهانی ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری اراضی، سبب بروز تغییرات آشکاری در اقلیم ایران ازجمله افزایش دما، افزایش مخاطرات جوی اقلیمی و کاهش بارش در دو دهه اخیر شده است (حبیبی نوخندان و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات انجام‌شده در زمینه اثر تغییر اقلیم نیز نشان می‌دهد، در دهه‌های آینده، دامنه انتشار گونه‌ها و جوامع گیاهی کاهش پیدا خواهند کرد (Tongli & Elizabeth, 2012؛ Krebs, 2009). 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 پایین‌تر کاهش خواهد یافت (Taylor *et al*., 2012). به‌عبارت‌دیگر، آشیان اکولوژیک این گونه‌ها در سال‌های آینده، به سمت مناطق مرتفع‌تر پیش خواهد رفت و در ارتفاعات پایین گستره پراکنش جغرافیایی گونه‌ها و جوامع گیاهی محدودتر خواهد شد (Thomas *et al*., 2010). برای مثال، نتایج حاصل از پیش‌بینی پراکنش گونه *Kelussia odoratissi-ma* در قالب سناریوی A_2 طی سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، بیانگر کاهش رخداد گونه *K. odoratissima* در مناطق کوهستانی زاگرس مرکزی و جابه‌جایی این گونه به سمت مناطق مرتفع است که این جابه‌جایی به‌دلیل کاهش بارندگی سالیانه و افزایش میانگین دماست (ابوالمعالی و همکاران، ۱۳۹۶). در این ارتباط، نتایج متفاوتی نیز گزارش شده است و بیان می‌شود، 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 افزایش‌یافته تعمیم‌یافته، بیانگر آن است که در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰، به ازای ثابت ماندن همه فاکتورهای اقلیمی به‌جز میانگین درجه حرارت سالیانه، احتمال باقی ماندن گونه *F. ovina*، افزایش می‌یابد، به‌عبارت‌دیگر، احتمال رخداد آن بیشتر می‌شود. نتایج منحنی‌های عکس‌العمل نیز نشان داد، با افزایش درجه حرارت سالانه، احتمال حضور گونه *F. ovina* افزایش می‌یابد (قاضی‌مرادی و همکاران، ۱۳۹۵).

در گزارش پیش‌رو 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* در رویشگاه‌های مرتعی تأکید شد و برای این کار، از ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی و سه متغیر فیزیوگرافی و مدل رگرسیون لجستیک در قالب دو مدل هشدار اقلیمی (سناریوهای $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$)، استفاده شد. بر مبنای نتایج، شاخص‌های دمایی نظیر میانگین دمای سالانه (BIO_1)، دامنه دمای سالانه (BIO_7) و میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11}) بیشترین اهمیت را برای تناسب رویشگاه گونه *B. tomentellus* دارند. به بیان دیگر، از میان متغیرهای اقلیمی، سنجه‌های مرتبط با دما، بر پراکنش گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و آینده تأثیر بیشتری خواهند داشت. در این ارتباط، میانگین دمای سالانه در سطوح مناسب رویشگاه (مکان‌هایی با احتمال وقوع بیشتر از ۷۵درصد)، طی سه دهه آینده، تا ۲/۰ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. ضمن اینکه، ارتفاع رویشگاه‌های مناسب آن حدود ۲۶۸ متر بیشتر خواهد بود و به ارتفاعات بالاتر مهاجرت خواهد کرد. بر همین اساس، تغییر اقلیم و افزایش درجه حرارت، سبب گسترش عمودی گونه *B. tomentellus* و حرکت آن به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی رویشگاه‌های مرتعی شده است. ازاین‌رو، دامنه تغییرات ارتفاع در گستره رویشی گونه *B. tomentellus* که در منابع موجود در سطح کشور از ۱۷۰۰ تا ۲۶۰۰ متر ذکر شده است (صبوحی و خداقلی، ۱۳۹۲)، با فرض وقوع سناریوهای اقلیمی $Rcp_{4.5}$ و $Rcp_{8.5}$؛ در آینده به سمت ارتفاعات بالاتر تغییر خواهد یافت. این موضوع، بیانگر آن است که در آینده، کیفیت رویشگاه و به‌دنبال آن، میزان حضور گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی کاهش می‌یابد.

در بسیاری از مطالعات، از ۱۹ سنجه اقلیمی یادشده در جدول ۱، به‌عنوان مبنایی برای پایش اثرات تغییر اقلیم بر موجودات (به‌ویژه گونه‌های گیاهی) استفاده شده است. این سنجه‌ها، بیشتر تحت تأثیر فصل، دما و بارندگی هستند. بنابراین، باوجود ماهیت اقلیمی خود، ازنظر اکولوژیکی نیز مهم هستند (Thuiller *et al*., 2005). با توجه به مقادیر مرتبط با دامنه اکولوژیک سنجه‌های محیطی مؤثر بر گستره گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی (جدول ۱)، می‌توان اظهار داشت، گونه *B. tomentellus* در محدوده ارتفاعی ۱۹۰۰ تا ۲۹۰۰ متری، از احتمال رخداد بیشتری برخوردار است. همچنین، دامنه بارش سالانه، بین ۳۰۸ تا ۳۱۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه، بین ۱۱ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد، بهترین شرایط رخداد گونه را در سطح کشور 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 یادشده در زاگرس

مرکزی است (Sangoony *et al.*, 2016). نتایج حاصل از این پژوهش، تا آنجا که به تعیین نیازهای اقلیمی مرتبط می‌شود، تا حد زیادی با نتایج مطالعات آت‌اکولوژی که پیش‌ازاین روی این گونه انجام شده است، مطابقت دارد. به‌عنوان‌مثال، بررسی نیازهای اقلیمی گونه *B. tomentellus* نشان داد، بارش و دمای فصل سرد، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر این گونه هستند (صبوحی و خداقلی، ۱۳۹۲). در مطالعه پیش‌رو نیز، نیز میانگین دمای سردترین فصل (BIO_{11})، ازجمله شاخص‌های مؤثر بر تناسب رویشگاه است. مساحت طبقات نقشه پیش‌بینی گستره گونه *B. tomentellus* در حال حاضر و سال ۲۰۵۰، در طبقات مختلف مطلوبیت رویشگاه نشان داد، گستره گونه *B. tomentellus*، در واکنش به تغییرات اقلیمی، کمتر می‌شود و در قالب سناریوی‌های اقلیمی، ۵۳/۵ تا ۸۹ درصد از رویشگاه‌های آب‌وهوایی مناسب خود را در سال ۲۰۵۰ از دست خواهد داد و رویشگاه‌های نامناسب فعلی نیز، ۳۱/۵ تا ۹۲ درصد افزایش خواهند یافت. همچنین، نتایج نشان داد، در قالب سناریوی $Rcp_{4.5}$، حضور گونه *B. tomentellus* در استان‌های همدان، مرکزی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، کرمان و کهگیلویه و بویراحمد بیشتر می‌شود. ضمن اینکه، در قالب سناریوی $Rcp_{8.5}$، رویشگاه مناسب این گونه، تنها به‌صورت چند لکه در حوالی رشته کوه‌های زاگرس و البرز مشاهده خواهد شد.

نتایج مشابهی نیز در بسیاری از مطالعات به دست آمده است که در آنها، حرکت گونه‌ها تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است. در این ارتباط، بررسی تغییر گستره گونه *B. tomentellus* در واکنش به تغییرات اقلیمی در زاگرس شرقی نشان داد، این گونه در اثر تغییرات اقلیمی، به سمت غرب منطقه که ارتفاع بیشتری دارد، حرکت کرده است. همچنین بیان شد، میانگین ارتفاع مناطقی که گونه در آن حضور داشته، ۲۵۵۰ متر بوده است که این مقدار در سال ۲۰۸۰، در قالب سناریوی A_2 به ۲۷۰۰ متر خواهد رسید (Sangoony *et al.*, 2016). با استناد به مطالعات انجام‌شده (Thuiller, 2007)، تغییرات اقلیمی، به‌طور متوسط باعث ۱۶۰ متر جابه‌جایی گونه‌های گیاهی و جانوری، در امتداد گرادیان ارتفاعی، خواهد شد که در پژوهش پیش‌رو، مقدار یادشده، ۱۳۴ متر به ازای یک درجه تغییر در دمای متوسط در سطح رویشگاه‌های مرتعی است. مطالعه‌ای هم روی جوامع گیاهی واقع در منطقه جنوب غربی ایالات متحده انجام شد، نتایج نشان داد، اکثر جوامع گیاهی در پاسخ به تغییرات اقلیمی، به سمت قطب یا ارتفاعات منتقل شدند (Archer & Predick, 2008). گونه‌های استنوترمیک، که در مکان‌هایی وجود دارند که نمی‌توانند به ارتفاعات بالاتر حرکت کنند، می‌توانند بیشترین آسیب را در اثر تغییرات اقلیمی متحمل شوند (Anderson, 2013). گونه *B. tomentellus* نیز که یک گونه گندمی فصل سرد (گونه سردسیری) با دامنه اکولوژیکی به‌نسبت وسیع است، درنتیجه تغییرات اقلیمی، مجبور به تغییر محدوده جغرافیایی خود خواهد شد.

به‌طورکلی، مدل‌های پراکنش گونه‌ای، ابزارهای مفید و مقرون‌به‌صرفه‌ای برای استفاده مدیران منابع طبیعی هستند 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 می‌کنند. این استراتژی‌ها، باید به‌منظور حفاظت این مناطق در برابر تهدیدها و به‌منظور بهبود مقاومت گونه‌های منتخب به تغییر اقلیم، به کار روند تا حضور این گونه‌ها در آینده را تضمین کنند. آنچه مسلم است، نتایج این پژوهش، پاسخگوی سؤالات مطرح زیر بوده است:

تغییر اقلیم در عرصه‌های مرتعی، تا چه اندازه، در گسترش عمودی و افقی گونه‌ها مؤثر است؟

آیا بهبود شرایط رویشگاهی یا تهدید رویشگاهی گونه‌ها را به‌دنبال دارد؟ (معتمدی و خداقلی، ۱۴۰۱).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، انتظار می‌رود همراه با تغییرات اقلیمی، تغییرات بزرگی نیز در پراکنش این گونه رخ دهد. این تغییرات، به گونه‌ای است که می‌تواند شرایط اقلیمی مناسب را برای زندگی این گونه مهم و مؤثر در رویشگاه‌های مرتعی محدود کند. بنابراین، برای بهبود وضعیت، 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 (معتمدی و خداقلی، ۱۴۰۱؛ Sangoony *et al.*, 2016). با انجام این کار، 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 مرفولوژیکی این گونه به مبارزه با تغییرات اقلیمی کمک کند. نکته مهم اینکه اهمیت نسبی گونه *B. tomentellus* در رویشگاه‌های فعلی محل پراکنش آن، طی سه دهه آینده به‌شدت کم خواهد شد، به‌طوری‌که خطر حذف آنها از اکوسیستم‌ها، کاملاً مشهود هست. ازاین‌رو، ضمن حفاظت آنها در داخل رویشگاه لازم است برای حفاظت آن در خارج از رویشگاه با رویکرد نزدیک به طبیعت نیز تدابیری اندیشیده شود. 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 پربنیه از آنها، کشت آنها در قطعات کوچک یک هکتاری در قطعات مرتبط در باغ‌های گیاه‌شناسی و کلکسیون‌های گیاهی و درنهایت 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 (جلیلی، ۱۴۰۱؛ معتمدی و خداقلی، ۱۴۰۱).

منابع

ابوالمعالی، م.ر.، ترکش اصفهانی، م. و بشری، ح.، ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه در معرض خطر انقراض کرفس کوهی با استفاده از مدل افزایشی تعمیم‌یافته. نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۰(۲): ۲۵۴-۲۴۳.

حبیبی نوخندان، م.، غلامی بیرقدار، م. و شائمی برزوکی، ع.، ۱۳۸۹. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی. پژوهشکده اقلیم‌شناسی، تهران، ۱۳۶صفحه.

خداقلی، م.، صبوحی، ر.، بیات، م.، معتمدی، ج. و شیرانی، ک.، ۱۴۰۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه‌های مهم مرتعی ایران بر پایه مدل پیش‌بینی اقلیم. گزارش نهایی طرح پژوهشی. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۱۶۴ صفحه.

جلیلی، ع.، ۱۴۰۰. ابرچالش‌های محیط‌های طبیعی ایران پدیده‌های طبیعی و دخالت‌های انسان (بایدها و نبایدها، راهبردهای پیشنهادی). نشریه طبیعت ایران، ۶(۲): ۲۰-۷.

جلیلی، ع.، ۱۴۰۱. حفاظت از گونه‌های گیاهی با عنوان "حفاظت خارج از رویشگاه با رویکرد نزدیک به طبیعت". نشریه طبیعت ایران، ۷(۱): ۴-۳.

سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶. آشکارسازی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و چشم‌انداز آن در ایران طی قرن بیست و یکم. پژوهشکده اقلیم‌شناسی، تهران، ۳۷ صفحه.

قاضی‌مرادی، م.، ترکش اصفهانی، م.، بشری، ح. و وهابی، م.ر.، ۱۳۹۵. تعیین رویشگاه بالقوه گونه کما (*Festuca ovina*) با استفاده از مدل افزایشی تعمیم‌یافته (GAM) در منطقه فریدون شهر استان اصفهان. مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۳): ۶۸۹-۳۷۷.

معتمدی، ج. و خداقلی، م.، ۱۴۰۱. پیش‌بینی گستره کنونی و آینده گونه *Bromus tomentellus* در رویشگاه‌های مرتعی البرز جنوبی، استان قزوین. مرتع و آبخیزداری، ۷۵(۲): ۳۳۲-۳۱۹.

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.

Archer, S.R., Predick, K.I., 2008. Climate change and ecosys tems of the southwestern United States. Rangelands, 30: 23-8.

Brovkin, V., Ganopolski, A. and Svirezhev, Y., 1997. A continuous climate-vegetation classification for use in climate-biospherestudies. Ecological Modelling, 101: 251-261.

Bytnerowicz, A., Omasa, K. and Paoletti, E., 2007. Integrated effects of air pollution and climate change on forests:a northern hemisphere perspective. Environmental Pollution, 147:438-445.

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: 941-952.

FAO, 2007. Adaptation to climate change in agriculture, forestry, and fisheries: Perspective, framework and priorities. FAO, Rome.

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.

Heywood, V.H., 1979. Flora Europaea Notulae Systematicae ad Floram Europaeam spectantes No. 20: Corrigenda et Addenda. Botanical Journal, 78(3): 235-236.

Hora, B., 1981. The Oxford Encyclopedia of trees of the world. Oxford University Press, Conscent Books, New York, 288 p.

IPCC, 2007. Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assess-ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.

Kosanic, A., Anderson, K., Harrison, S., Turkington, T. and Bennie, J., 2018. Changes in the geographical distribution of plants pecies and climatic variables on the West Cornwall peninsula (South West UK). PLoS ONE, 13(2): 1-18.

Krebs, C.J., 2009. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. 6th ed. Benjamin Cummings, San Francisco. 655p.

Ray, D.K., West, P.C., Clark, M., Gerber, J.S., Prishchepov, A.V. and Chatterjee, S., 2019. Climate changehas likely already affected global food production. PLoS ONE, 14(5): 1-18.

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.

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.

Thomas, L., Gerald, E. and Celestino, F., 2010. Projection of suitable habitat for rare species under global warming scenario. American journal of botany, 97(6): 970-987.

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.

Tongli, W. and Elizabeth, C., 2012. Projecting future distributions of ecosystem climate niches: Uncertainties and management applications. Forest Ecology and Management, 279: 128-140.

Walter, H., 1985. Vegetation of the earth and ecological systems of geobiosphere, Springer, Heidelberg, 318p.

Woodward, F.I., 1987. Climate and plant distribution. Cambridge University Press, 174p.

Woodward, F.I. and Rochefort, L., 1991. Sensitivity analysis of vegetation diversity to environmental change. Global Ecology and Biogeography Letters, 1(1):7-23.

Woodward, F.I. and Williams, B.G., 1987. Climate and plant distribution at global and local scales: Vegetation, 69: 189-197.

Zwicke, M., Picon-Cochard, C., Morvan-Bertrand, A., Prud'homme, M.P. and Volaire, F., 2015. What functional strategies drive drought survival and re-covery of perennial species from upland grassland?. Annals of Botany, 116:1001-1015.