بوم‌شناسی کاربردی/ سال چهاردهم / شماره اول / ۱٤۰٤/ صفحات ۱۰۱ تا ۱۱۹

مدل‌سازی پراکنش برخی گونه‌های گیاهی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی

علیرضا افتخاری[۱*]، مرتضی خداقلی[۱]، راضیه صبوحی[۲] ، رستم خلیفه زاده[۱]، پروانه عشوری[۱] و محمود گودرزی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰۳/۰۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰۹/۲۳)

چکیده

تغییر اقلیم به طور قابل توجهی بر دامنه پراکنش گونه‌ها تأثیر می‌گذارد. این پژوهش با هدف تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه‌های گیاهی منتخب در استان خراسان رضوی بر پایه مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی انجام شده است. در این مطالعه، پس از بررسی روند تغییرات اقلیمی با استفاده از آزمون من-کندال، نقشه پراکنش بالقوه گونه‌ها با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و بر اساس ۱۹ لایه بایواقلیمی و سه متغیر فیزیوگرافی تهیه شد. نتایج نشان داد که استان خراسان رضوی با افزایش دما مواجه است و روند صعودی دما در ۸۳ درصد از ایستگاه‌ها معنی‌دار است. افزایش دما به ویژه در ارتفاعات، ذوب زودهنگام برف و کاهش ذخیره آب را به دنبال دارد. مدل رگرسیون لجستیک نشان داد که گونه‌های *Stipa arabica* ، *Bromus tomentellus*، *Ferula ovina* و *Artemisia aucheri* به ترتیب ۳٤/٤، ۲٤/۸، ۱۰/۲۳ و ۵/٦ درصد از مساحت استان را با احتمال رخداد ۷۵ تا ۱۰۰ درصد پوشش می‌دهند. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی به ویژه در سناریوی بد بینانه اثرات قابل توجهی بر پراکنش گونه‌های گیاهی دارد و می‌تواند منجر به کاهش آشیان اکولوژیک گونه‌ها، کاهش تنوع زیستی شود. بنابراین، توجه به این موضوع و اتخاذ تدابیر مناسب برای سازگاری با تغییرات اقلیمی و حفظ تنوع زیستی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، روند، رگرسیون لجستیک، سناریوی اقلیمی، مدل پراکنش گونه‌ای

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

۲. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

*مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: alireza_ephtekhari@yahoo.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

مقدمه

تغییرات اقلیمی، به عنوان یک عامل کلیدی در تغییر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها، تأثیرات عمیقی بر پراکنش زیستگاه گونه‌ها و پایداری تنوع زیستی جهانی دارد (۲۳ و ۲٤). افزایش دمای جهانی، تغییر الگوهای بارش و افزایش فراوانی رویدادهای آب و هوایی شدید، تعادل اکوسیستم‌ها را مختل کرده و گونه‌ها را با چالش‌های انطباق، مهاجرت یا انقراض مواجه می‌سازد. این پدیده، نه تنها گونه‌های منفرد، بلکه شبکه‌های پیچیده درون بوم سازگان را نیز تهدید می‌کند و می‌تواند منجر به از دست رفتن تنوع زیستی و حتی فروپاشی اکوسیستم شود. تغییر اقلیم به طور قابل توجهی بر دامنه پراکنش گونه‌ها، به ویژه از طریق تغییر در توزیع جغرافیایی، تأثیر می‌گذارد (۲۰ و ۲٦). گونه‌ها در تلاش برای حفظ شرایط محیطی بهینه خود، اغلب به سمت قطب‌ها یا ارتفاعات بالاتر در خشکی‌ها و آب‌های عمیق‌تر یا خنک‌تر در دریاها مهاجرت می‌کنند. این جابجایی‌ها می‌توانند منجر به شکل‌گیری اکوسیستم‌های نوین و تغییر در ساختار جوامع زیستی شوند که پیامدهای مهمی برای تنوع زیستی و رفاه انسان دارند (۲۰). ساز و کارهای تأثیر تغییر اقلیم بر گونه‌ها متنوع هستند. از دست رفتن و قطعه قطعه شدن زیستگاه، تغییر در گونه‌ها و تغییر در پویایی تغذیه‌ای مواردی از تاثیرات تغییر اقلیم می باشند (۲). با تشدید تغییر اقلیم، درک و مقابله با این چالش‌ها از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار می‌شود (۳). گونه‌هایی که از انعطاف‌پذیری فنوتیپی بالایی برخوردارند، ممکن است توانایی بیشتری در انطباق با شرایط آب و هوایی در حال تغییر داشته باشند. با این حال، مدل‌هایی که تنوع درون‌گونه‌ای را در نظر نمی‌گیرند، ممکن است میزان جابجایی دامنه گونه‌ها را کمتر از حد واقعی برآورد کنند (۲۸). علاوه بر این، تغییرات اقلیمی می‌تواند گسترش گونه‌های مهاجم را تسهیل کرده و توزیع گونه‌های بومی را تغییر دهد که این امر به طور بالقوه می‌تواند منجر به از دست رفتن تنوع زیستی شود (۱). در نتیجه، تغییر اقلیم به عنوان یک چالش پیچیده و چندوجهی بوده و مدیریت اثرات آن بر تنوع زیستی، نیازمند رویکردهای جامع و یکپارچه است. تحقیقات آینده باید بر بهبود مدل‌های پیش‌بینی، درک بهتر مکانیسم‌های انطباق گونه‌ها و توسعه استراتژی‌های حفاظتی مؤثر برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر تنوع زیستی متمرکز باشد. خداقلی و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای نشان دادند که تغییرات اقلیمی، به ویژه افزایش دما و تغییر الگوهای بارش، تأثیر قابل توجهی بر پراکنش گونه *Bromus tomentellus* در ایران دارد. نتایج نشان داد که با افزایش دما، مناطق مناسب برای رشد این گونه کاهش می‌یابد و پراکنش آن به سمت ارتفاعات بالاتر و عرض‌های جغرافیایی شمالی‌تر تغییر می‌کند (۱۱). ناطقی و همکاران (۲۰۲٤) به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پراکنش چهار گونه گیاهی مهم مرتعی در استان البرز پرداختند. نتایج نشان داد که روند دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایشی بوده و تغییرات اقلیمی می‌توانند منجر به کاهش سطح رویشگاه این گونه‌ها و جابجایی آنها به ارتفاعات بالاتر شوند (۱۷). نارویی و همکاران (۲۰۲٤) در پژوهشی مشابه رفتار رویش گونه *Platychaete aucheri* در منطقه سیستان و بلوچستان در شرایط کنونی و آینده را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که افزایش دما باعث حفظ رویشگاه فعلی، افزایش احتمال حضور گونه در سطح کل استان و گسترش عمودی گونه و حرکت آن به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی منطقه خواهد شد (۱٦). معتمدی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر گستره رویشگاه گونه *Stipa barbata* در ایران تا سال ۲۰۵۰ پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که طی سه دهه آینده، حضور این گونه در رویشگاه‌ها کاهش یافته و خطر حذف آن از اکوسیستم‌ها وجود دارد (۱٤). رانا و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه *Fritillaria cirrhosa* در کشور نپال را با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه ایشان چهار (RCP) تحت مدل گردش عمومی BCC-CSM1.1 در سال ۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین تناسب رویشگاهی بین سناریوهای مختلف اقلیمی سال ۲۰۵۰ در RCP4.5 رخ خواهد داد. هم‌چنین جابجایی گونه به سمت مناطق مناسب اقلیمی در شمال غربی را پیش‌بینی نمودند(۲۱).

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

جدول ۱. مشخصات گیاهان مورد بررسی (۱۳)

ردیف	نام گونه	بارندگی (میلی متر)	حرارت (درجه سانتی گراد)	اقلیم رویشی	محدودیت ها
۱	*Artemisia aucheri*	۳۰۰-٤٥٠	-۳۰ تا +٤٠	نیمه خشک تا مرطوب سرد و فرا سرد	شوری خاک، گرمای شدید و به طور کلی با محدودیت کم
۲	*Bromus tomentellus*	۳۰۰-۷٥٠	-۳۰ تا +۳٥	نیمه خشک تا نیمه مرطوب سرد و فرا سرد	شوری خاک، عمق کم خاک، شیب تند و اراضی سنگلاخی، دیرزیستی کم بذر، چرای سنگین، نیاز به دوره یخ بندان برای پنجه زنی
۳	*Ferula ovina*	٤۰۰-۷۰۰	-۳۰ تا +۳۰	مدیترانه ای تا مرطوب سرد و فرا سرد	شوری خاک، خاک سبک یا کم عمق، گرمای شدید، نیاز به دوره یخ بندان برای رشد و استقرار
٤	*Stipa arabica*	۲۰۰-٤٥٠	-۲٥ تا +٤٥	خشک تا نیمه خشک سرد	شوری خاک و به طور کلی با محدودیت اندک

جمع‌بندی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که تغییر اقلیم و اثرات آن می تواند باعث کوچک و یا بزرگ شدن آشیان اکولوژیک گونه ها و تاثیرات غالبا مخربی بر تنوع زیستی داشته باشد. لذا در این تحقیق هدف بررسی تغییرات بارندگی و دما در استان خراسان رضوی و همچنین بررسی اثرات تغییر اقلیم بر گستره پراکنش چهار گونه مهم مرتعی در استان خراسان رضوی بود. بررسی تغییر اقلیم بر گستره پراکنش برخی از مهم ترین گونه های مرتعی استان در دو حالت متوسط و بدبینانه می تواند مدل رفتاری گونه ها، کاهش یا افزایش سطح پراکنش، سطوح کاهشی و افزایشی و موراد مهم مشابه را برای مدیریت احتمالی و آتی مراتع استان خراسان رضوی فراهم نماید.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با مساحت ۱۱۷۳۲٥۳٤ هکتار، حدود ۷/۱۲ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان در شمال شرق ایران واقع شده است. ارتفاع متوسط آن ۱۲۱٦ متر بوده (شکل ۱)، میانگین بارندگی سالانه در این استان حدود ۲۰۸ میلی‌متر است. میانگین دما در بخش‌های غربی استان بیشترین مقدار بوده و حدوداً برابر با ۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با حرکت به سمت مناطق شرقی و شمالی، از مقدار میانگین دما کاسته شده و به حدود ۱٤ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. مقدار بارش در جنوب استان حدود ۱٥۰ میلی‌متر می باشد و با حرکت به سمت مناطق مرتفع شمالی مقدار آن افزایش یافته و به حدود ۳۰۰ میلی‌متر می‌رسد (٥).

گونه‌های گیاهی مورد بررسی و داده های ایستگاه سینوپتیک

در این پژوهش چهار گونه گیاهی غالب مراتع استان خراسان رضوی شامل *S. arabica*، *F. ovina*، *B. tomentellus* و *A. aucheri* بررسی شدند که ویژگی های مهم آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

داده‌های اقلیمی مورد بررسی شامل میزان بارندگی، میانگین، حداکثر و حداقل دمای ماهانه و سالانه از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور در استان خراسان رضوی استخراج می‌باشند که موقعیت جغرافیایی آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. این داده‌ها پس از بررسی کیفی، با استفاده از آزمون تام

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان خراسان رضوی

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع(m)	مشخصات جغرافیایی		طول دوره آماری (سال)
			طول (درجه)	عرض (درجه)	
۱	تربت جام	۹۵۰	٦۰/٦	۳٥/۳	۲٦
۲	تربت حیدریه	۱٤٥۱	٥۹/۲	۳٥/۳	٦۰
۳	سبزوار	۹۷۲	٥۷/٦	۳٦/۳۲	٦٤
٤	سرخس	۲۷۸	٦۱/۱	۳٦/٥	۳٤
٥	قوچان	۱۲۸۷	٥۸/٤	۳۷/۱	۳٥
٦	کاشمر	۱۱۰۹	٥۸/٥	۳٥/۳	۳۲
۷	گلمکان چناران	۱۱۷٦	٥۹/۳	۳٦/٥	۳۲
۸	گناباد	۱۰٥٦	٥۸/۷	۳٤/۳	۳۲
۹	مشهد	۹۹۹	٥۹/٦	۳٦/۲	٦۸
۱۰	نیشابور	۱۲۱۳	٥۸/۸	۳٦/۳	۲۸

برای مطالعه همگنی، تحلیل شدند.

تهیه نقشه پوشش گیاهی استان و پراکنش فعلی گونه‌ها

در این پژوهش، نقشه پوشش گیاهی اولیه از نقشه‌های طرح شناخت مناطق اکولوژیک تهیه شد. با این حال، به دلیل محدودیت این نقشه‌ها در نشان دادن پراکنش واقعی گونه‌ها (اعم از غالب و پراکنده با زادآوری)، بازنگری نقشه ضروری بود. برای این منظور، علاوه بر اطلاعات نقشه‌های اولیه، از اطلاعات هرباریوم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و فلورهای موجود استفاده شد. پس از بررسی منابع و مشورت با متخصصان، دامنه ارتفاعی رویشگاه‌های گونه‌ها به طور تقریبی مشخص و با بازدیدهای میدانی مکرر، حداقل و حداکثر ارتفاع پراکنش گونه‌های منتخب تعیین شد. در نهایت، با استفاده از نقشه کاربری اراضی و حذف کاربری‌های غیر مرتعی، نقشه حضور فعلی گونه‌ها در محیط ArcGIS. 10.8.2 اصلاح و نهایی گردید. لذا سطح در نظر گرفته شده برای ثبت نقاط حضور و غیاب یا رخداد گونه ها، کل سطح مراتع استان خراسان رضوی بوده است. در این تحقیق اصول مدل سازی بر مبنای داده های واقعی سطح پراکنش فعلی هر گونه و یا به عبارتی داده های غیاب واقعی هر گونه گیاهی در استان بوده است. این نقاط به صورت یک شبکه منظم در استان در نظر گرفته شد که فاصله پیکسلها از هم ٤/۹ در ٤/۹ کیلومتر می باشد (جدول ۳). ارتفاع حداقل و حداکثر پراکنش گونه‌های منتخب در جدول ٤ آورده شده است.

- اطلاعات محیطی

به منظور تهیه لایه اطلاعات محیطی ۱۹ بایو اقلیمی برای حال حاضر برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی با استفاده از جدول ٥ محاسبه و برای ۱۹ بایو اقلیمی در سال ۲۰٥۰ از سایت WorldClim.org تصاویر با دقت ۳۰ ثانیه دانلود شدند که یکی از سایت‌های تولید داده گزارش پنجم می‌باشد. بایوها به طور مستقیم از سایت WorldClim استخراج شده‌اند و برای محاسبه آنها از نرم افزار R. 4.5.1 استفاده شده است. در ادامه صحت سنجی نیز با داده های زمینی (ایستگاه های هواشناسی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

جدول ۳. تعداد نقاط رخداد برای گونه های مورد نظر در سطح استان خراسان رضوی

نام گونه	تعداد نقاط رخداد
S. arabica	۱٦۸٤
B. tomentellus	۱۲۱٤
F. ovina	۵۰۳
A. aucheri	۲۷۵

جدول ٤. ارتفاع مناطق پراکنش گونه‌های منتخب

نام گونه	ارتفاع حداقل و حداکثر (متر)
S. arabica	۱۱۰۰–۲٤۰۰
F. ovina	۱۷۵۰–۲۵۰۰
B. tomentellus	۱۷۰۰–۲۵٦۰
A. aucheri	۱۷۰۰–۲۲۵۰

سینوپتیک خراسان رضوی) انجام شده است. این داده‌ها برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آتی به‌دست آمد. داده ها از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ در این سایت موجود است و از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نیز پیش بینی شده است (جدول ٦).

از سناریوی متوسط به جای خوش بینانه استفاده شد. زیرا سناریوی متوسط محتمل‌ترین وضعیت آینده را نشان می‌دهد و برای برنامه‌ریزی عملی و واقع‌گرایانه مفیدتر است و از خوش‌بینی افراطی یا بدبینی شدید پرهیز می‌کند. ضمن اینکه برای مدیریت مراتع و منابع طبیعی باید برای شرایط متوسط تا بد بینانه آماده بود تا تدابیر مورد نظر در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر گونه های مرتعی و مراتع بررسی شده و در نظر گرفته شود و برای شرایط خوش بینانه معمولا اعمال مدیریت و تدابیر مربوطه آسانتر می باشد. در انتها نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع به‌عنوان ورودی داده‌های محیطی در محیط ArcGIS ترسیم شد.

پیش بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌های منتخب

رگرسیون لجستیک

برای پیش‌بینی پراکنش رویشگاه گونه‌ها 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 مربوط تعیین گردید. از این رابطه، برای پیش بینی رویشگاه در سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل گردش عمومی ESM-MRI ۲–۰ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. سناریو RCP 8.5 با انتشار بسیار بالای گازهای گلخانه‌ای و سناریوی RCP 4.5 تعادل انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. این روش در نرم افزار SPSS v24 اجرا و نتایج آن با استفاده از ArcGIS v10.8.2 تبدیل به نقشه می‌شود.

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

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

آزمون من–کندال

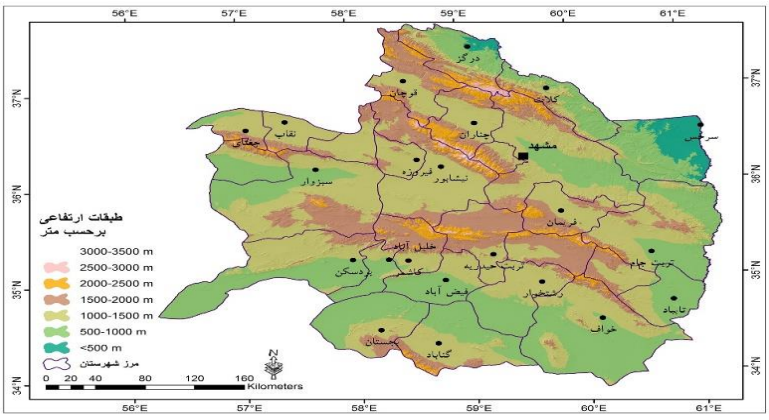
آزمون من-کندال را می‌توان به عنوان آزمونی برای تعیین این که آیا مقدارY گرایش به افزایش یا کاهش همراه (T تغییر یکنواخت) دارد یا خیر، توصیف کرد. این آزمون برای تعیین روندهای یکنواخت استفاده می‌شود و بر اساس رتبه می‌باشد. آماره آزمون من - کندال به صورت زیر است:

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

جدول ۵. متغیرهای محیطی استفاده شده در فرایند مدل‌سازی

نام BIO	تعریف	واحد
BIO_1	میانگین دمای سالانه	درجه سانتی‌گراد
BIO_2	دمای حداقل و حداکثر ماهانه (دمای حداکثر–دمای حداقل)	درجه سانتی‌گراد
BIO_3	هم دمایی ۱۰۰ × (BIO2/BIO7)	فاقد واحد
BIO_4	دمای فصلی (انحراف معیار×۱۰۰)	فاقد واحد
BIO_5	حداکثر دمای گرمترین ماه	درجه سانتی‌گراد
BIO_6	حداقل دمای سردترین ماه	درجه سانتی‌گراد
BIO_7	دامنه دمای سالانه (BIO5-BIO6)	درجه سانتی‌گراد
BIO_8	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	درجه سانتی‌گراد
BIO_9	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	درجه سانتی‌گراد
BIO_{10}	میانگین دمای گرمترین فصل	درجه سانتی‌گراد
BIO_{11}	میانگین دمای سردترین فصل	درجه سانتی‌گراد
BIO_{12}	بارندگی ماهانه	میلی‌متر
BIO_{13}	بارندگی مرطوبترین ماه	میلی‌متر
BIO_{14}	بارندگی خشکترین ماه	میلی‌متر
BIO_{15}	بارندگی فصلی (ضریب تغییرات)	میلی‌متر
BIO_{16}	بارندگی مرطوبترین فصل	میلی‌متر
BIO_{17}	بارندگی خشکترین فصل	میلی‌متر
BIO_{18}	بارندگی گرمترین فصل	میلی‌متر
BIO_{19}	بارندگی سردترین فصل	میلی‌متر
شیب	–	درصد
جهت	–	–
ارتفاع	–	متر



شکل ۱. نقشه طبقه‌بندی ارتفاعی در استان خراسان رضوی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

جدول ٦. سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم (۹)

سناریو	واداشت تابشی	غلظت دی‌اکسیدکربن	وضعیت انتشار
RCP4.5	٤/٥ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند.	٦٥٠ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند.	تعادل انتشار گازهای گلخانه ای
RCP8.5	بیشتر از ۸/٥ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	۳۷۰ ppm تا سال ۲۱۰۰	انتشار بسیار بالای گازهای گلخانه ای

جدول ۷. ارزیابی مدل با استفاده از ماتریس خطا

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

رابطه (۳)
$$Var(s)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^{q}t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right]$$

رابطه (٤)
$$S=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{k=i+1}^{n}\mathrm{sgn}(x_k-x_i)$$

رابطه (٥)
$$Z_c=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & ,S>0\\ 0 & ,S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(s)}} & ,S<0\end{cases}$$

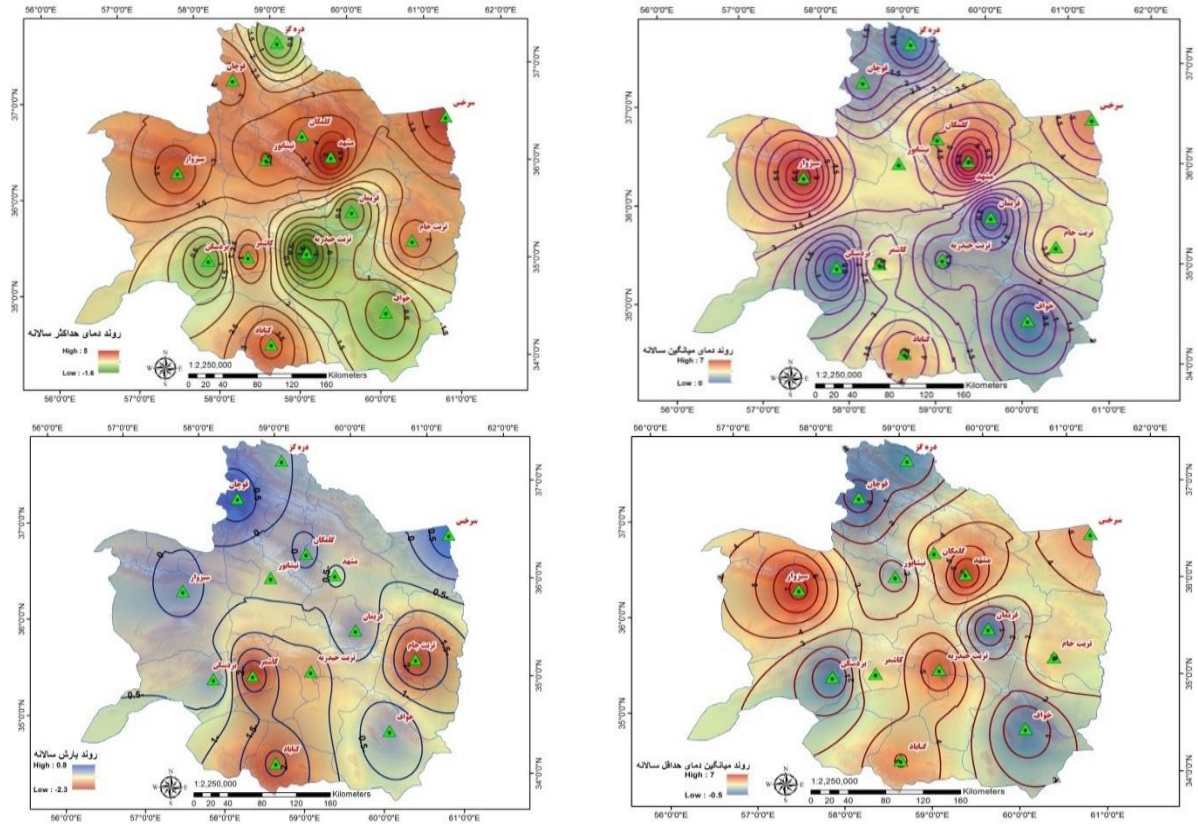
مدل سازی و اعتبارسنجی

چون اغلب متغییر ها با شدتهای مختلف در مدل تاثیرگذار بودند تقریبا از اکثر آنها استفاده شده است. اما در مورد متغیرهایی که هم راستایی داشته اند، از این متغیرها در مدل استفاده نشده است. در خصوص متغیرهای مدل، روش شناسایی هم‌راستایی بین متغیرها، بر اساس رگرسیون لجستیک انجام شد. داده‌هایی که همبستگی بالاتری دارند حفظ و داده‌های با همبستگی کمتر، حذف شدند. در انتها از ۲۰ درصد از داده‌های حضور برای ارزیابی مدل استفاده شد. برای ارزیابی و صحت سنجی 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 ۷ 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 به عنوان حضور ثبت می‌کند. b نشان‌دهنده مثبت کاذب است یعنی پیش‌بینی‌هایی که در مدل وجود داشته، اما در دنیای واقعی وجود ندارد که به عنوان خطای مدل ثبت می‌شود. c نشان‌دهنده منفی کاذب است یعنی پیش‌بینی‌هایی که در مدل وجود نداشته است، ولی در دنیای واقعی وجود دارد و به عنوان 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 به عنوان عدم حضور ثبت می‌کند (۲۲)

با توجه به ماتریس ۲×۲ 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 (Kappa)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]



شکل ۲. روند میانگین دما، دمای حداکثر، دمای حداقل و مقدار بارش سالانه در استان خراسان رضوی

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 این‌که توافق کامل بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده وجود دارد. فرمول ضریب کاپا به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

رابطه (٦)

در مقادیر جدول ۷، صفر احتمال تصادفی یا غیرتصادفی بودن مقادیر واقعی و پیش‌بینی برابر است و منفی بودن نشان‌دهنده‌ی غیر واقعی بودن مدل می‌باشد (۲۵).

نتایج

- نتایج روند پارامترهای اقلیمی

برای تعیین روند تغییرات متغیرهای منتخب از روش ناپارامتری من-کندال استفاده شد در این روش تعیین روند برای تمام ایستگاهها در ماه‌های مختلف و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر سه شاخص میانگین دما، دمای حداکثر و حداقل صعودی بوده و در بیشتر ایستگاه‌ها نیز معنی‌دار هستند (جدول۸). در مقابل، میزان بارش روند نزولی داشته ولی معنی‌دار نمی‌باشد. شکل ۲ نتایج این روندها را نمایش می‌دهد.

- نقشه رویشگاه بالقوه گونه‌های منتخب در استان خراسان رضوی

برای تهیه نقشه رویشگاه‌های بالقوه ابتدا ۱۹ بایوی اقلیمی محاسبه شد و با استفاده از مدل استخراج شده از روش آماری رگرسیون

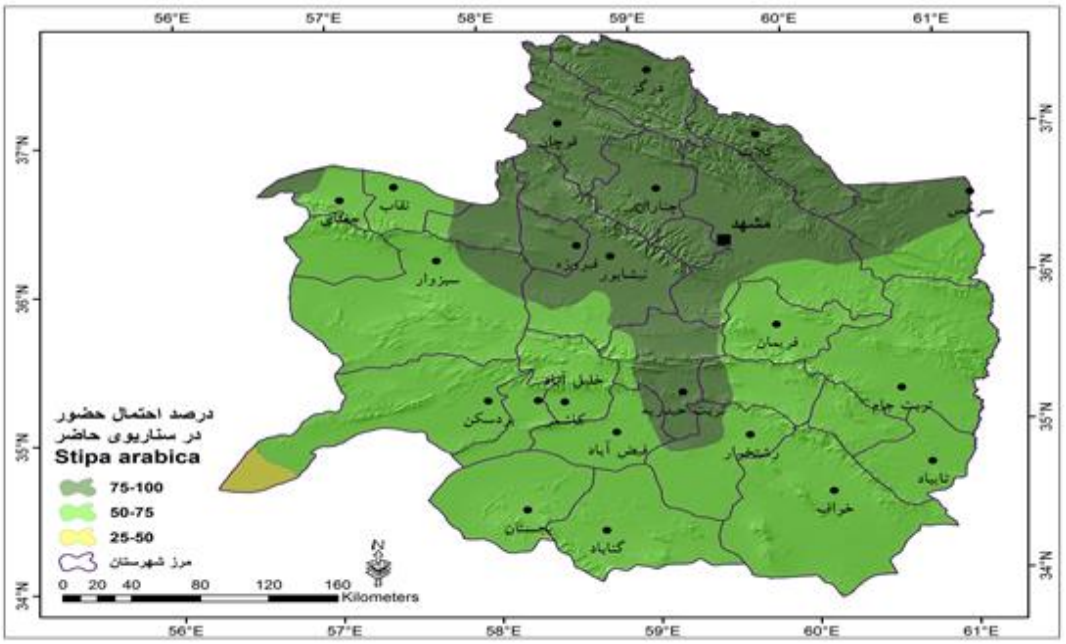
[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

جدول ۸. مقادیر آماره من-کندال میانگین دما، دمای حداکثر، حداقل و میانگین بارندگی سالانه در استان خراسان رضوی

ایستگاه	میانگین دمای سالانه	میانگین دمای حداکثر	میانگین دمای حداقل	میانگین بارندگی سالانه
تربت جام	۳/۷۹**	۳/۳۵**	٤/۰۱**	-۲/۲۹*
تربت حیدریه	۱/٤۰	-۱/٦۳	۵/۹۳**	-۱/۲٤
سبزوار	٦/٦٦**	۳/۹۳**	۷/۲۷**	۰/۲۱
سرخس	۵/٤۰**	٤/٤۹**	۵/۳۷**	۰/۷٤
قوچان	۱/۱٤	۳/۲۱**	-۰/۵۱	۰/۸۸
کاشمر	۳/۵۵**	۳/۳۰**	۳/۸۰**	-۲/٤۰*
گلمکان چناران	٤/۵۲**	۳/٦۸**	٤/۰۷**	۰/۱۸
گناباد	٤/۵۲**	۳/٦۸**	۵/۰٤**	-۲/۰۹*
مشهد	۷/۱۲**	۵/۱۱**	۷/۰۲**	-۰/۵۵
نیشابور	۳/۱۸**	۳/۵٤**	۱/۵٦	-۰/٤۵

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد		** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

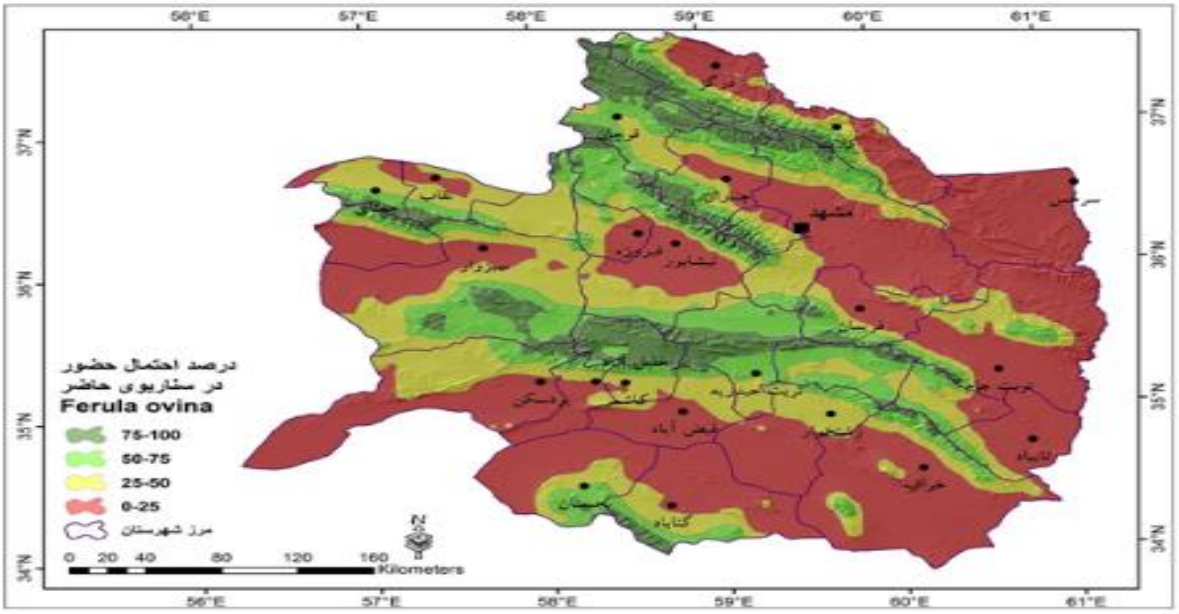


شکل ۳. نقشه پراکنش فعلی گونه *S. arabica*

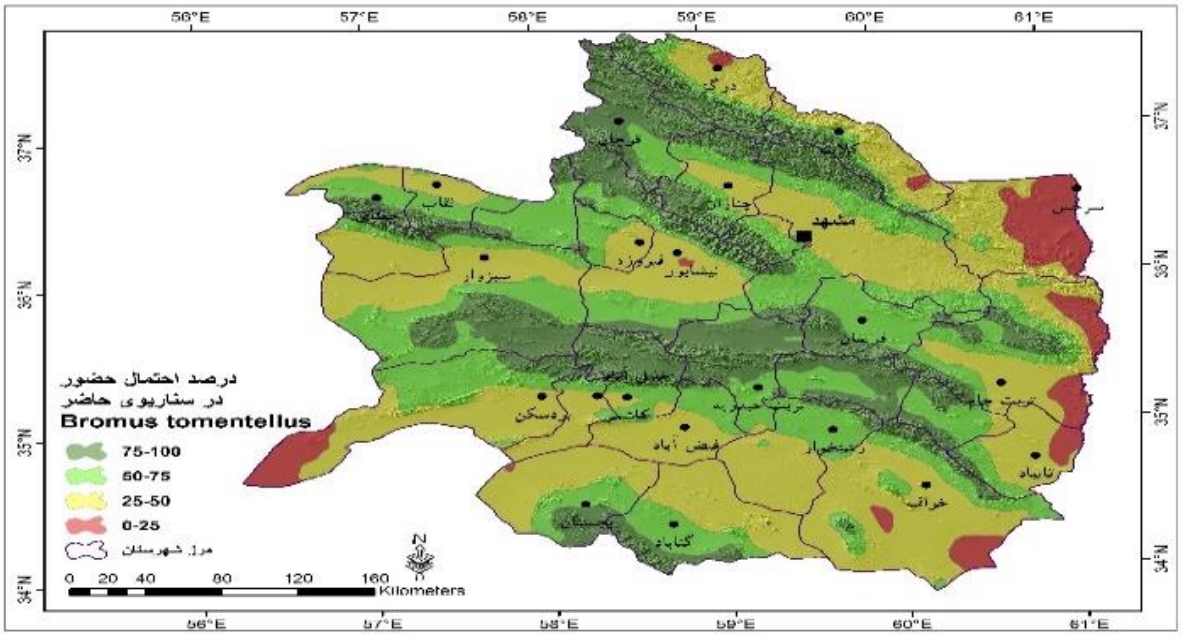
لجستیک نقشه‌های هر گونه تهیه شد. شکل ۳ نقشه حضور فعلی گونه *S. arabica* را نشان می‌دهد. نقشه تولید شده در چهار کلاس به منظور تعیین مساحتی که هر کلاس به خود اختصاص می‌دهد، طبقه‌بندی گردید. با توجه به نقشه، این گونه در بخش‌های شمالی به احتمال ۱۰۰-۷۵ درصد حضور داشته و در بخش‌های جنوبی، شرقی و غربی از احتمال حضور گونه کاسته می‌شود. نتایج نشان داد تقریباً در ۳۵ درصد سطح استان احتمال رخداد این گونه ۱۰۰-۷۵ درصد است که معادل ٤۰٤۰٦٦۱ هکتار

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]



شکل ٤. نقشه پراکنش فعلی گونه *F. ovina*

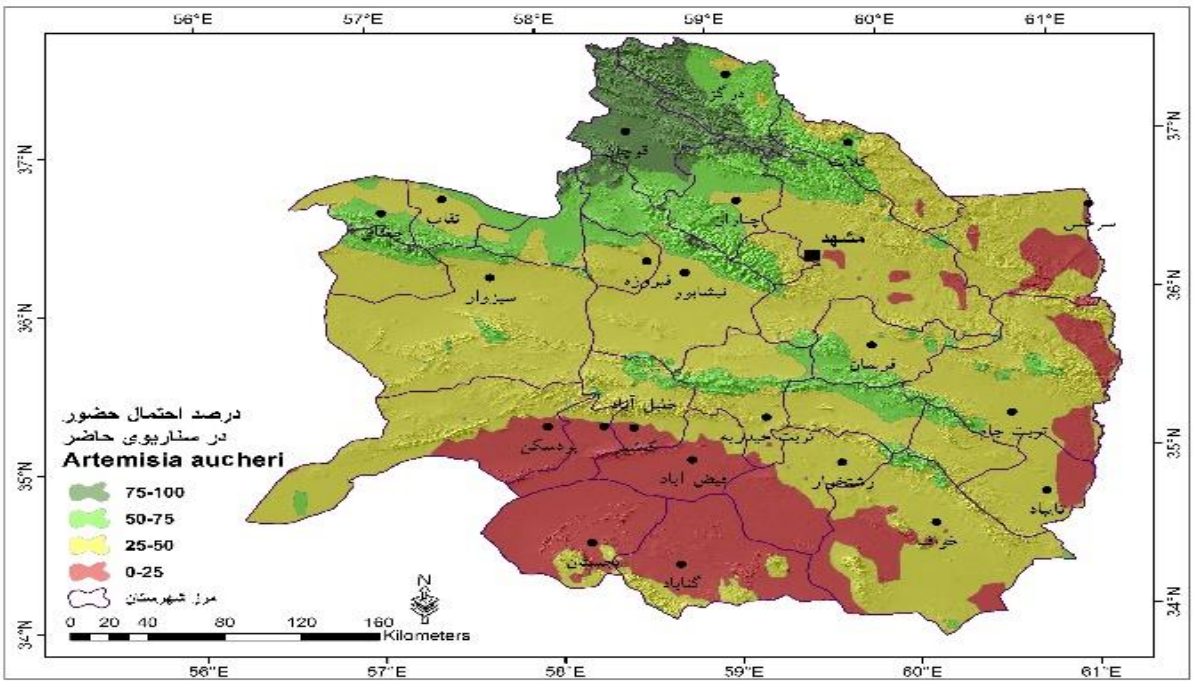


شکل ۵. نقشه پراکنش فعلی گونه *B. tomentellus*

می‌باشد. مطابق با شکل ٤ گونه *F. ovina* در بخش‌های مرکزی و شمالی و در ارتفاعات حضور پررنگ‌تری داشته و با حرکت به سمت مناطق پست شرقی و جنوبی از درصد حضور گونه کاسته شده و طبقه ۲۵-۰ بیشترین درصد را به خود اختصاص می‌دهد. نقشه تولید شده در چهار کلاس نشان داد در تقریباً ۱۰ درصد استان احتمال رخداد این گونه ۱۰۰-۷۵ درصد است که معادل ۱۲۰٦۵٤۸ هکتار می‌باشد. شکل ۵ نیز نقشه پراکنش فعلی گونه *B. tomentellus* نشان می‌دهد. در بخش‌های شمالی و مرکزی استان، این گونه ۱۰۰-۷۵ درصد مشاهده می‌شود و در مناطق پست شرقی و جنوبی درصد حضور این گونه بسیار کم می‌باشد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]



شکل ٦. نقشه پراکنش فعلی گونه *A. aucheri*

جدول ۹. ضریب کاپا گونه‌های منتخب

گونه	ضریب کاپا
S. arabica	۸٦
F. ovina	۸۲
B. tomentellus	۸۵
A. aucheri	۷۹

نقشه تولید شده در چهار کلاس نشان داد در تقریباً ۲۵ درصد استان احتمال رخداد این گونه ۱۰۰-۷۵ درصد است که معادل ٦۰۸٦۱۰ هکتار می‌باشد. همان‌طور که در شکل ٦ مشخص است، گونه *A. aucheri* با درصد حضور ۱۰۰-۷۵ درصد به صورت لکه‌ای در بخش شمالی مشاهده می‌شود. هم‌چنین طبقه ۵۰-۲۵ درصد در بخش‌های مرکزی دیده می‌شود. نقشه تولید شده در چهار کلاس نشان داد در تقریباً ٦ درصد استان احتمال رخداد این گونه ۱۰۰-۷۵ درصد است که معادل ٦٦۰۲۵۲ هکتار می‌باشد.

ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های حضور و عدم حضور گونه و با استفاده از ضریب آماری کاپا انجام شد. مقادیر این شاخص برای گونه‌های مختلف به شرح جدول ۹ می‌باشد که با توجه به طبقه‌بندی ضرایب کاپا، مدل از دقت خوب و قابل قبولی برخوردار است.

- پیش‌بینی پراکنش گونه‌های منتخب در سال ۲۰۵۰

نتایج مدل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که در سناریوی RCP4.5، احتمال حضور گونه *S. arabica* بیشتر در مناطق با ارتفاع متوسط تا زیاد (۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر) در بخش‌های شمالی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

استان است. در این سناریو، حضور گونه با احتمال ۷۵ تا ۱۰۰ درصد تقریباً صفر بوده و بیشترین درصد حضور مربوط به طبقه ۲۵ تا ۵۰ درصد است. در سناریوی RCP8.5، حضور گونه با احتمال ۷۵ تا ۱۰۰ درصد فقط در اطراف کوه‌های قوچان و چناران و در ارتفاعات بالای ۲۰۰۰ متر (حدود ۸ درصد از استان) دیده می‌شود. بیشترین درصد حضور در این سناریو نیز مربوط به طبقه ۲۵ تا ۵۰ درصد (۷۹ درصد از سطح استان) است. حضور گونه *Fe. ov* تحت سناریوی RCP4.5 بیشتر در مناطق مرتفع (۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) شامل قوچان، چناران، فریمان و خلیل‌آباد افزایش می‌یابد. در این سناریو، ۲٤/۲ درصد از استان دارای حضور ۷۵ تا ۱۰۰ درصد گونه است و بیشترین درصد مربوط به طبقه ۲۵ تا ۵۰ درصد می‌باشد. در سناریوی RCP8.5، حضور گونه با درصد ۷۵ تا ۱۰۰ درصد در همان مناطق قبلی اما در ارتفاعات بالاتر (۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر) مشاهده می‌شود و تنها ۳/۹ درصد از استان را شامل می‌شود. بیشترین فراوانی حضور در این سناریو مربوط به طبقه ۰ تا ۲۵ درصد با ۷۱/۸ درصد مساحت است که در ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری دیده می‌شود. حضور گونه *B. tomentellus* در سناریوی RCP4.5، بیشتر در مناطق مرتفع (۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر) شامل خلیل آباد، فریمان، چناران، تربت حیدریه و قوچان افزایش می‌یابد. در این شرایط، ۲۱/۱ درصد از مساحت استان، احتمال حضور ۷۵ تا ۱۰۰ درصد گونه را نشان می‌دهد و بیشترین درصد مربوط به طبقه ۲۵ تا ۵۰ درصد است. در سناریوی RCP8.5، حضور گونه با احتمال ۷۵ تا ۱۰۰ درصد فقط در اطراف کوه‌های قوچان، جغتای و خلیل آباد (حدود ۲ درصد از استان) دیده می‌شود و در ارتفاعات ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری قرار دارد. بیشترین فراوانی حضور (۷۳ درصد مساحت) مربوط به طبقه ۰ تا ۲۵ درصد است که در ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۵۰۰ متری مشاهده می‌شود.

حضور گونه *A. aucheri* در سناریوی RCP4.5 مورد مطالعه در مناطق مرتفع (۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر) از جمله قوچان و ارتفاعات درگز افزایش می‌یابد. در این سناریو، ٦ درصد از مساحت استان، احتمال حضور ۷۵ تا ۱۰۰ درصد گونه را نشان می‌دهد و بیشترین درصد مربوط به طبقه ۲۵ تا ۵۰ درصد است. در سناریوی RCP8.5، حضور گونه با احتمال ۷۵ تا ۱۰۰ درصد محدود به قوچان و ارتفاعات درگز (۲/٤ درصد از استان) شده و در ارتفاعات ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری مشاهده می‌شود. بیشترین فراوانی حضور (٦۸ درصد مساحت) مربوط به طبقه ۲۵ تا ۵۰ درصد است که در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری دیده می‌شود(شکل ۷) و (جدول ۱۰).

بحث

هنگامی که مفهوم میدان اکولوژیک در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای به کار برده می‌شود، فرض بر این است که گونه‌ها در تعادل با شرایط محیطی حاضر (اقلیم) هستند و فرضیات دیگری شامل توانایی جابجایی در چشم‌انداز (پراکنش یا مهاجرت)، روابط بین گونه‌ای مانند رقابت یا شکار و تأثیرات انسان در مطالعات مدل‌های پراکنش در نظر گرفته نمی‌شود (٦). ملاحظه تمام این فرآیندها در مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس جغرافیایی وسیع ضروری نیست (۸). هم‌چنین عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی برای مدل‌سازی در سطح منطقه‌ای کفایت می‌کنند و عوامل زیستی مانند روابط بین گونه‌ای و درون گونه‌ای در مقیاس محلی یا خرداقلیم مؤثر هستند (۱۲ و ۱۹). علی‌رغم کمبودها، مدل‌های پراکنش گونه‌ای الگوهای کلی جابه‌جایی گونه‌ها را پیش‌بینی می‌نمایند که اغلب با روندهای زیستی مشاهده شده منطبق هستند (۱۸) .

در حال حاضر، حداقل و حداکثر ارتفاع مناطقی که گونه *S. arabica* در آن‌ها حضور دارد به ترتیب ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر است. درصورتی‌که نتایج مدل‌سازی در سال ۲۰۵۰ در مناطقی که به علت تغییر اقلیم مناسب خواهند شد این حداقل و حداکثر ارتفاع را به ترتیب در سناریو ٤/۵، ۳۵۰۰–۱۵۰۰ متر و در سناریو ۸/۵، ۲۰۰۰–۳۵۰۰ متر نشان می‌دهد. با افزایش دما در اثر تغییر اقلیم، وسعت رویشگاه این گونه کاهش خواهد یافت و به سمت مناطقی که مرتفع‌تر و در نتیجه دارای دمای کمتری باشند، جابه‌جا خواهد شد که با نتایج پژوهش ناطقی و همکاران (۲۰۲٤)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

جدول ۱۰. درصد مساحت کلاس‌های رویشگاه گونه‌های مدنظر در سناریوهای مختلف

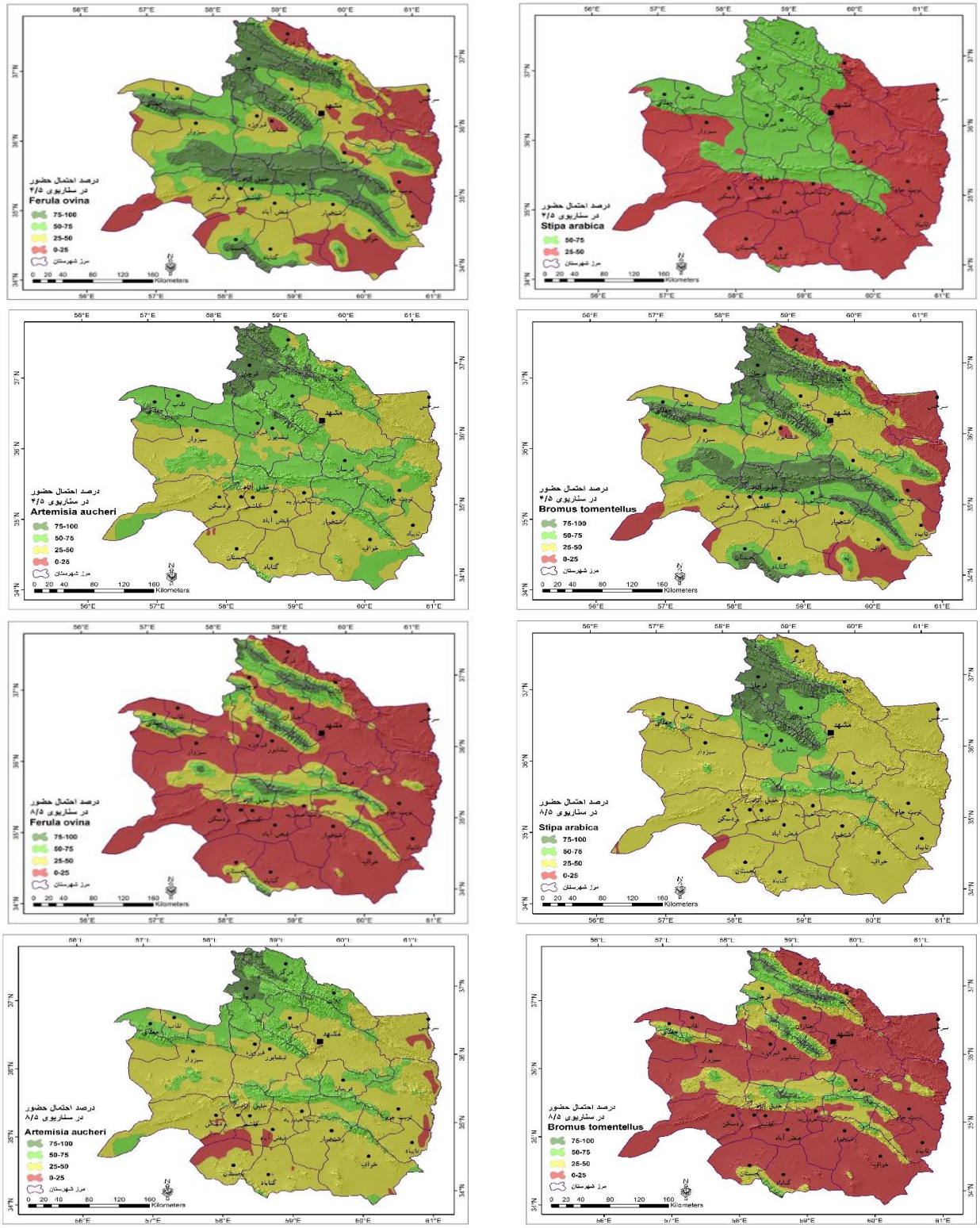
گونه	*S. arabica*							
سناریو	٤/٥		٨/٥		٤/٥		٨/٥	
طبقات رویشگاه (درصد)	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
۷۵–۱۰۰	۰/۰۸	۰	٦٢٩٢٨	۰/٥	٢٨٣٢٦٤٣	٢٤/٢	٤٥٨٤٩٢	٣/٩
۵۰–۷۵	٤٢٧٣٩٣٠	٣٦/٤	٩٢٥٢١٢٦	٧٨/٩	٢٤٢١١٧٧	٢٠/٦	١٠٦٥٣٠٩	٩/١
۲۵–۵۰	٧٤٥٢٥٠٠	٦٣/٦	١٣٧٤٣٦٨	١١/٧	٤٠٧٩٩٤١	٣٤/٨	١٧٨٧٢٢٢	١٥/٢
۰–۲۵	۰	۰	١٠٣٦٨٥٠	٨/٨	٢٣٩٢٦٥٢	٢٠/٤	٨٤١٥٤١٠	٧١/٨
گونه	*B. tomentellus*				*A. aucheri*			
سناریو	٤/٥		٨/٥		٤/٥		٨/٥	
طبقات رویشگاه (درصد)	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
۷۵–۱۰۰	٢٤٧٠٩٩٠	٢١/١	٢٣٩١٢٥	٢	٧٠٢٤٤٤	٦	٢٨٤٢٤٤	٢/٤
۵۰–۷۵	٢٤٩١٨٨٨	٢١/٣	٨٩٦٨٥٣	٧/٦	٤٧٥٩٣٠٥	٤٠/٦	٢٩٩١٢٤٢	٢٥/٥
۲۵–۵۰	٤٨٦٨١٠٢	٤١/٥	٢٠٢١٦٤٥	١٧/٢	٦٢٥٦٥٦٥	٥٣/٤	٨٠١٨٢٢٠	٦٨/٤
۰–۲۵	١٨٩٥٢٤٠	١٦/٢	٨٥٦٨٨٥٧	٧٣/١	٨٠٨٦	٠/١	٤٣٢٧٠١	٣/٧

همخوانی دارد (۱۷). پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ در مناطق مرکز و شمالی و در کوههای فریمان، مناطق کوهستانی کلات، چناران و قوچان شاهد بروز مناطق مستعد وقوع گونه باشد که این مناطق از نظر اقلیمی برای گونه مناسب خواهند شد. محققان گسترش گیاهان به سمت ارتفاعات طی دوره‌های اخیر را نمونه‌ای از جابه‌جایی گونه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم ذکر نمودند (۲۹).

در ارتباط با گونه *F. ovina* در حال حاضر، حداقل و حداکثر ارتفاع مناطقی که این گونه در آن‌ها حضور دارد به ترتیب ۱۵۰۰ و ۳۵۰۰ متر است. درصورتی‌که نتایج مدل‌سازی در سال ۲۰۵۰ در مناطقی که به علت تغییر اقلیم مناسب خواهند شد، این حداقل و حداکثر ارتفاع را به ترتیب در سناریوی ٤/٥ از نظر ارتفاعی نه تنها تغییری نمی‌کند بلکه گسترده‌تر نیز می شود، ولی در سناریوی ۸/۵، ارتفاع افزایش یافته و در ارتفاع ۳۵۰۰–۲۰۰۰ متر قرار می‌گیرد. در سناریوی متعادل بر وسعت مناطقی با درصد حضور ۷۵–۱۰۰ درصد افزوده می شود، ولی در شرایط بدبینانه که گازهای گلخانه‌ای افزایش داشته و منجر به افزایش دمای هوا شده است از وسعت حضور ۱۰۰–۷۵ درصد گونه کاسته شده است و به ارتفاعات کلات، قوچان، چناران، جغتای و فریمان محدود می‌شود. تایلر (۲۰۰۷) نیز یکی از مهمترین اثرات تغییر اقلیم را جابه‌جایی محدوده جغرافیایی گونه‌های گیاهی دانست. وی بیان کرد که افزایش دما باعث حرکت گونه‌های نیمکره شمالی به سمت ارتفاعات خواهد شد. البته از نظر وی تغییرات در اکوسیستم‌های مختلف یکسان نیست و هر اکوسیستم باید با روش‌های مناسب بررسی شود. همان‌طور که گونه‌ها به سمت قطب یا ارتفاعات می‌روند ممکن است ناپدید شوند و یا به

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]



شکل ۷. نقشه پیش‌بینی رویشگاه گونه های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی تحت سناریوهای ٤/۵ و ۸/۵

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

پناهگاهی دور از بقیه محدود شوند، در حالی‌که گونه‌های دیگر ممکن است دامنه پراکنش خود را گسترش دهند (۲۷) که در این تحقیق و در مورد گونه علف بره و در سناریوی متوسط نیز این موضوع صدق می‌کند.

گونه *B. tomentellus* در حال حاضر در ارتفاع ۳۵۰۰–۱۵۰۰ متر قرار گرفته است، در سناریو ٤/٥ (شرایط متعادل) شرایط حضور گونه تغییر چندانی ندارد ولی در سناریو ۸/۵ (سناریو بدبینانه) در ارتفاع ۳۵۰۰–۲۰۰۰ متر می‌باشد (اغلب در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر) که نشان می‌دهد این گونه از وسعت آن خصوصاً در سناریو بدبینانه کاسته شده و به مناطق کوهستانی و مرتفع استان محدود می شود، بنابراین بررسی پراکنش گونه تحت سناریوی بدبینانه که شدیدترین تغییرات اقلیمی را پیش‌بینی می‌کند، حاکی از این است که محدوده پراکنش گونه برای جبران افزایش درجهٔ حرارت به سمت ارتفاعات جابه‌جا خواهد شد که با نتایج معتمدی و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد (۱۵). نتایج مطالعه فخیمی و خداقلی (۲۰۲۳) پیش‌بینی پراکنش گونه *B. tomentellus* تحت سناریوهای اقلیمی طی سال ۲۰۵۰ بیانگر کاهش سطح رویشگاه این گونه در سه دهه آینده و جابجایی این گونه به سمت ارتفاعات بالاتر می‌باشد که نتایج این مطالعه را تایید می کند (٤). مطالعه خداقلی و همکاران (۲۰۲۳) در زاگرس جنوبی نیز نتایج مشابهی را نشان داد. آنها با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رویشگاه گونه *B. tomentellus* با استفاده از مدل پیش‌بینی اقلیم، دریافتند که این گونه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۷۰ و ۲٦۰ متر به ارتفاعات بالاتر مهاجرت خواهد کرد. علاوه بر این، مساحت مناطق مناسب رویشگاه این گونه از ۸/۲٦ درصد مساحت رویشگاه‌های مرتعی زاگرس جنوبی در شرایط فعلی به ۸/۵ درصد در سناریو RCP4.5 و ۷/۱ درصد در سناریو بدبینانه RCP8.5 در سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد (۱۱).

در حال حاضر، حداقل و حداکثر ارتفاع مناطقی که گونه *A. aucheri* در آن‌ها حضور دارد به ترتیب ۱۰۰۰ و ۲۵۰۰ متر است. درصورتی‌که نتایج مدل‌سازی در سال ۲۰۵۰ در مناطقی که به علت تغییر اقلیم مناسب خواهند شد این حداقل و حداکثر ارتفاع را به ترتیب در سناریو ٤/٥، تقریبا در همان محدوده ارتفاعی و در سناریو ۸/۵، ۲۵۰۰–۱۵۰۰ متر نشان می‌دهد. شیب و دما دو پارامتر اصلی موثر بر پراکنش این گونه بوده و به طوری که شیب بر روی عمق خاک تاثیر گذاشته و در نتیجه بر استقرار ریشه موثر است. از آنجا که این گونه در استان تنها در قسمت شمال غربی و در محدوده نسبتا کوچکی پراکنش دارد، لذا تغییرات ارتفاعی آن در استان خراسان رضوی نیز محدود است. جانیسوا (۲۰۰۵) نشان داد که شیب به‌عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار بر پراکنش تیپ‌های درمنه کوهی و درمنه دشتی می‌باشد (۱۰). و همچنین فروزه و همکاران (۲۰۱۷) ویژگی‌های توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) را از عوامل اصلی الگوی پراکنش پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی معرفی کردند (۷). هم‌چنین در این گونه افزایش بیش از حد دما نیز سبب اختلال در غذاسازی می‌گردد و فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد. از طرفی ضمن بالابردن تبخیر از سطح خاک و گیاه، میزان آب قابل‌دسترس گیاه را کاهش داده و ممکن است باعث کاهش وسعت این گونه شود به همین دلیل این گونه به دلیل جبران گرما در شرایط بدبینانه به سمت ارتفاعات بالاتر یعنی در حدود ۲۵۰۰ متری جابه‌جا شده است. پژوهش انجام شده توسط معتمدی و همکاران (۲۰۲۲) در سال ۲۰۲۲ در کوههای البرز در استان قزوین نیز نشان می‌دهد که در آینده، حضور گونه *A. aucheri* در رویشگاه‌های منطقه کاهش یافته و احتمال حذف آن از اکوسیستم‌ها وجود دارد. به طور کلی، تغییرات اقلیمی و افزایش دما منجر به گسترش عمودی این گونه و حرکت آن به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر در امتداد گرادیان ارتفاعی منطقه خواهد شد (۱۵).

به طور کلی گیاهانی مانند *B. tomentellus* و *F. ovina* به دلیل نیاز به دوره یخ بندان، بارندگی بیشتر و دمای کمتر در اثر تغییرات اقلیمی و به ویژه در سناریوی بدبینانه، دارای آشیان اکولوژیک کوچکی می‌شوند در حالی که دو گونه *A. aucheri* و *S. arabica* به دلیل سازگاری و مقاومت بیشتر با افزایش دما

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

و کاهش بارندگی، به ویژه در سناریوی متوسط، آشیان اکولوژیک نسبتا بزرگتری خواهند داشت. در سناریوی متوسط که نسبت به دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه، بیشتر احتمال وقوع آن می رود، همه گونه های مورد بررسی تغییرات چندان قابل توجهی در آشیان اکولوژیک خود نخواهند داشت اما در سناریوی بد بینانه همه گونه های مورد بررسی دچار کاهش سطح رویشگاه شده و به ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر تا ۳۵۰۰ پناه می برند (گونه درمنه کوهی ۱۵۰۰ الی ۲۵۰۰ متری). لذا نکته مهم در حفظ گیاهان و رویشگاه های مرتعی استان کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می باشد تا از وقوع سناریوی بدبینانه ممانعت به عمل آید. قابل ذکر اینکه مراتع در این زمینه به واسطه ترسیب کربن و تلطیف هوا خود نقش مهم و ارزنده ای دارند که باید پاشنه آشیل مدیران منابع طبیعی به عنوان ابزاری برای حفظ و اهرمی برای جلوگیری از تغییر کاربری مراتع باشد. از سوی دیگر مراتع در ارتفاعات ۲۰۰۰ متر به بالا حتی در سناریوی بد بینانه نیز مامن و پناهگاه گیاهان مرتعی می باشند لذا این مناطق باید دارای اولویت اول حفاظتی استان باشند و در بحث واگذاری‌ها به مثابه مراتع درجه یک به آنها نگاه شود. ضمنا پیشنهاد می شود در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای مراتع استان تمام ذخیرگاه‌ها و محاوط بذرگیری در محدوده ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری انتخاب شود که کمترین تاثیر را در آینده از تبعات تغییر اقلیم خواهند داشت. مورد مهم دیگر اینکه با تداوم شرایط فعلی و تولید آلاینده ها و به ویژه گازهای گلخانه‌ای، کمیت و کیفیت مراتع استان کاهش محسوسی خواهد داشت. مهاجرت برخی گونه‌های حساس‌تر و غالبا خوشخوراک‌تر که به سرمای بیشتری نیاز دارند و خالی شدن مراتع از گونه های خوشخوراک مانند *B. tomentellus* و *F. ovina* باعث کاهش کیفیت علوفه چرا شده توسط دام و درنتیجه پایین آمدن ضریب تبدیل علوفه به گوشت می گردد. در این حالت دامداران در ظاهر با کاهش علوفه مواجه نمی‌شوند اما به دلیل افت کیفیت علوفه و پایین آمدن ضریب تبدیل علوفه به گوشت، اقتصاد مرتعداران نیز دچار مشکل می شود. با ادامه این روند و مهاجرت اغلب یا بقیه گونه ها به ویژه در ارتفاعات پایین تر، دامنه ارتفاعی مراتع به سمت ارتفاعات بلندتر حرکت کرده و از کمیت مراتع نیز کاسته می شود. لذا ادامه و تداوم این روند آثار زیانباری بر کمیت و کیفیت مراتع، چرای دام و اقتصاد دامداری خواهد داشت. در مجموع برای برنامه ریزی مراتع استان باید نقش مراتع در کاهش گازهای گلخانه ای به دلیل ترسیب کربن و همچنین اهمیت رویشگاه‌های مرتعی در ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متری که حتی در سناریوی بدبینانه نیز توان حفظ گیاهان مرتعی مهم استان را دارند، همواره مد نظر مدیران مراتع استان باشد.

از این رو مدل‌های پراکنش گونه‌ای، ابزارهای مفید و مقرون به صرفه‌ای به منظور استفاده مدیران منابع طبیعی می‌باشند و آگاهی آن‌ها را نسبت به اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌ها افزایش می‌دهند. نقشه‌های حاصل از مدل‌ها، مناطق حساس به تغییر اقلیم و پناهگاه‌های ممکن در آینده گونه‌های منتخب را به منظور استفاده در طرح‌های حفاظتی و مرتعی این مناطق مشخص می‌نمایند. این استراتژی‌ها باید به منظور حفاظت این مناطق در برابر تهدیدها و به منظور بهبود مقاومت گونه‌های منتخب به تغییر اقلیم به کار روند تا حضور این گونه‌ها در آینده را تضمین کنند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور بابت حمایت های پژوهشی لازم در خصوص اجرای این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

منابع

1- Bellard, C., Jeschke, J.M., Leroy, B. and Mace, G.M., 2018. Insights from modeling studies on how climate change affects invasive alien species geography. *Ecology and evolution,* 8(11): 5688-5700.

2- Bertrand, R., Lenoir, J., Piedallu, C., Riofrío-Dillon, G., De Ruffray, P., Vidal, C., Pierrat, J.C. and Gégout, J.C., 2011. Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. *Nature,* 479(7374): 517-520.

3- Elith, J.H, Graham, C.H, Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J. and Lehmann, A., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography,* 29(2): 129-151.

4- Fakhimi, E. and Khodagholi, M., 2023. Effects of climate change on the vegetation range of *Bromus tomentellus* Boiss species in the pasture habitats of central Zagros, Chaharmahal and Bakhtiari provinces. *Journal of Environmental Science Studies,* 8(2): 6730-6740 (In Persian).

5- Fayaz, M., Tavakoli, H., Tabatabaei, M., Pezhman, H. and Hosseini Bamrod, GH.R., 2013. Ecological regions of Iran, Vegetation types of Khorasan Razavi, Research Institute of Forest and Rangelands press (In Persian).

6- Franklin, J., 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

7- Forouzeh, M.R., Heshmati, G.A. and Barani, H., 2017. Feasibility study of preparing prediction map of the possibility of presence of some important range species in Zagros rangeland. *Journal of Plant Ecosystem Conservation,* 5(10):53-74 (In Persian).

8- Hamann, A. and Wang, T., 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. *Ecology*, 87(11): 2773-2786.

9- IPCC., 2013. Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

10- Janišová, M., 2005. Vegetation-environment relationships in dry calcareous grassland. *Ekológia*, 24(1):25-64.

11- Khodagholi, M., Motamedi, J. and Saboohi, R., 2023. Effects of climate change on the distribution of *Bromus tomentellus*. *Iran Nature,* 7(6): 17-25.

12-Meier, E.S., Lischke, H., Schmatz, D.R. and Zimmermann, N.E., 2012. Climate, competition and connectivity affect future migration and ranges of European trees. *Global Ecology and Biogeography,* 21(2): 164-178.

13- Moghimi, J., 2005. Introducing some important rangeland species suitable for the development and improvement of Iranian rangeland, Arvan press, Tehran, Iran. (In Persian).

14- Motamedi, J., Khodagholi, M. and Khalifezadeh, R., 2022. Assessment of the effects of climate change on the future range of Stipa barbata species in the southern Alborz region. *Management of Natural Ecosystems,* 2(2): 13-22.

15-Motamedi, J., Khodagholi, 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,* 7(2): 5015-5023 (In Persian).

16-Narouei, M., Khodagholi, M. and Saboohi. R., 2024. The effect of climate change on the habitat distribution of Platychaete aucheri. Boiss species in Sistan and Baluchestan province based on climate prediction model. *Iranian Journal of Range and Desert Research,* 31(3): 284-300.

17- Nateghi, S., Khodagholi, M. and Souri, M., 2024. Assessment of the effects of climate change on the habitat of important pasture species in Alborz province based on the climate prediction model. *Iranian Journal of Range and Desert Research,* 31(3): 301-322.

18-Parmesan, C., Gaines, S., Gonzalez, L., Kaufman, D.M., Kingsolver, J., Townsend Peterson, A. and Sagarin, R., 2005. Empirical perspectives on species borders: from traditional biogeography to global change. *Oikos,* 108(1): 58-75.

19- 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(8): 361-371.

20- Pecl, G.T., Araújo, M.B., Bell, J.D., Blanchard, J., Bonebrake, T.C., Chen, I.C., Clark, T.D., Colwell, R.K., Danielsen, F. and Evengård, B. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science,* 355(6332):1-42.

21-Rana, S.K., Rana, H.K., Ghimire, S.K., Shrestha, K.K. and Ranjitkar, S. 2017. Predicting the impact of climate change on the distribution of two threatened Himalayan medicinal plants of Liliaceae in Nepal. *Journal of Mountain Science,* 14, 558-570.

22. Robert, J., Hijman. 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(12):2272–2281.

23-Sánchez-Mercado, A., Ferrer-Paris, J. and Franklin, J., 2010. Mapping species distributions: Spatial inference and prediction. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

24- Rubenstein, M.A., Weiskopf, S.R., Bertrand, R., Carter, S.L., Comte, L., Eaton, M.J., Johnson, C.G., Lenoir, J., Lynch, A.J. and Miller, B.W., 2023. Climate change and the global redistribution of biodiversity: substantial variation in empirical support for expected range shifts. *Environmental Evidence,* 12(7): 1-21.
25- Safaee, M., Tarkesh, M., Basiri, M. and Bashari, H., 2018. Modeling potential habitat of Astragalus verus Olivier for conservation decisions: A comparison of three correlative models. *Journal of Flora,* 242, 61-69.
26- Stewart, B.M., Turner, S.E. and Matthews, H.D., 2020. Climate change impacts on potential future ranges of non-human primate species. *Climatic Change,* 162(4): 2301-2318.
27-Thuiller, W., 2007. Climate change and the ecologist. *Nature,* 448**(**7153**)** 550-552.
28-Valladares, F., Matesanz, S., Guilhaumon, F., Araújo, M.B., Balaguer, L., Benito-Garzón, M., Cornwell, W., Gianoli, E., Van Kleunen, M. and Naya, D.E., 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *Ecology letters,* 17(11): 1351-1364.
29- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O. and Bairlein, F., 2002. Ecological responses to recent climate change *Nature,* 416(6879): 389-395.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Modeling the Distribution of Some Plant Species Under Climate Change Scenarios in Khorasan Razavi Province

Alireza Eftekhari[1*], Morteza Khodagholi[1], Razieh Saboohi[2], Rostam Khalifehzadeh[1], Parvaneh Ashouri[1] and Mahmoud Goudarzi[1]

(Received: May 26-2025; Accepted: December 14-2025)

Abstract

Climate change exerts a substantial influence on the geographical distribution of species. The present study aimed to develop predictive habitat suitability maps for selected plant species in Khorasan Razavi Province using climate projection models. Climatic trends were first assessed through the Mann–Kendall test, after which potential species distribution maps were produced using logistic regression based on 19 bioclimatic variables and three physiographic factors. The findings indicate a pronounced warming trend across Khorasan Razavi Province, with statistically significant temperature increases observed at 83% of meteorological stations. Rising temperatures, particularly in high-altitude regions, contribute to earlier snowmelt and a consequent decline in water storage. Logistic regression results suggest that *Stipa arabica*, *Bromus tomentellus*, *Ferula ovina*, and *Artemisia aucheri* potentially occupy 34.4%, 24.8%, 10.23%, and 5.6% of the provincial area, respectively, with a probability of occurrence ranging from 75% to 100%. Overall, the results demonstrate that climate change—especially under pessimistic scenarios—has considerable effects on plant species distributions, potentially leading to contraction of ecological niches and a decline in biodiversity. Accordingly, addressing climate change impacts through appropriate adaptation measures and biodiversity conservation strategies is of critical importance.

Keywords: Climate change, Trend, logistic regression, Climate scenario, Species distribution modeling

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-13]

1. Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
2. Researcher, Watershed and Conservation Division, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
*Corresponding Author, Email: alireza_ephtekhari@yahoo.com

[DOI: 10.47176/ijae.14.1.15461]