

اثر تغییر اقلیم بر آشیان اکولوژیک اقلیمی گونه گیاهی *Bromus tomentellus* Boiss با استفاده از مدل Maxent در استان اصفهان

- ❖ آزاده بذرمنش*؛ کارشناس ارشد مهندسی مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- ❖ مصطفی ترکش اصفهانی؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- ❖ حسین بشری؛ عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

چکیده

در این مطالعه به منظور مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه علف پشمکی *Bromus tomentellus* Boiss و بررسی اثر تغییر اقلیم بر رویشگاه این گونه در استان اصفهان از مدل حداکثر آنترپی (MAXENT) استفاده گردید. داده‌های رخداد گونه به وسیله روش طبقه‌بندی تصادفی با استفاده از بازدیدهای میدانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی شامل ۶۰ مکان مرتعی به عنوان نقاط آموزشی تعیین گردید. همچنین ۲۰ نقطه رخداد به صورت پیمایش زمینی با استفاده از GPS در منطقه غرب استان اصفهان به عنوان نقاط ارزیابی در نظر گرفته شد. ۲۲ لایه محیطی شامل ۳ متغیر فیزیوگرافی و ۱۹ متغیر اقلیمی مشتق شده از درجه حرارت و بارندگی در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از مدل حداکثر آنترپی رابطه بین رخداد گونه و عوامل محیطی تعیین گردید و پراکنش جغرافیایی گونه به صورت نقشه نمایش داده شد. سپس اثر سناریوهای تغییر اقلیم شامل سناریوی RCP2/6 (خوشبینانه) و RCP8/5 (بدبینانه) بر پراکنش جغرافیایی گونه *Br. tomentellus* Boiss مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به منحنی‌های عکس‌العمل گونه نسبت به متغیرهای محیطی گونه *Bromus tomentellus*، در محدوده ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر، شیب ۱۰ تا ۳۰ درجه، بارش سالیانه ۲۴۰ تا ۲۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد از احتمال رخداد بیشتری برخوردار است. گستره جغرافیایی گونه در دو دوره زمانی سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ نشان داد که تحت سناریوی خوشبینانه ۴۶/۱ کیلومتر مربع به مساحت رویشگاه گونه افزوده و تحت سناریوی بدبینانه حدود ۳۵/۷۴ کیلومتر مربع از سطح مناسب رویشگاه این گونه کاسته می‌شود.

کلید واژگان: مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، نقاط رخداد، منحنی‌های عکس‌العمل گونه‌ای، سناریوهای تغییر اقلیم

۱. مقدمه

حضور دارند کشف کرد [۱۸] و به طور ویژه در نظارت، ارزیابی، احیاء، حفاظت و توسعه پایدار این اکوسیستم‌های مرتعی قدم مؤثری برداشت [۲، ۱۱، ۱۳]. مدل‌های توزیع گونه‌ای (SDMs) به پیش‌بینی محدوده جغرافیایی بالقوه یک گونه با استفاده از داده‌های رخداد حضور و متغیرهای محیطی اثرگذار بر آن می‌پردازند. یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌های مدل‌سازی توزیع گونه‌ای بر اساس نقاط حضور گونه، روش حداکثر آنروپی Maxent است که با استفاده از تعداد محدودی از نقاط حضور گونه به پیش‌بینی رویشگاه بالقوه گونه در حال حاضر و تحت تأثیر تغییر اقلیم در آینده می‌پردازد [۱۸].

از جمله مهم‌ترین گونه‌های پایای مراتع اصفهان که از تولید قابل توجهی برخوردار است، گونه *Bromus tomentellus* (علف پشمکی) می‌باشد. این گونه از خانواده Poaceae، گیاهی چندساله و پایاست و دارای ریشه‌های قوی با ساقه‌های شکننده است که قسمت اعظم برگ‌ها در پایین ساقه مجتمع بوده و روی خاک را می‌پوشاند. بنابراین با توجه به نقش این گونه در حفاظت خاک، جایگاه ارزشمندی در عرصه منابع طبیعی تجدیدشونده دارد [۱۵، ۱۹]. این گیاه، گیاهی چمنی و انبوه است و گونه‌ای خوشخوار محسوب می‌شود. این گونه ویژه نواحی کوهستانی خاورمیانه و خاور نزدیک با نزولات آسمانی حداقل ۲۰۰ میلی‌لیتر سالانه و زمستان‌های سرد و خیلی سرد می‌باشد. علوفه این گیاه از ارزش بالایی برخوردار بوده و حتی می‌تواند جایگزین یونجه در رژیم غذایی دام‌های اهلی شود [۱۵]. در طبقه‌بندی ران کیائر گونه مورد مطالعه در فرم زیستی همی‌کریپتوفیت قرار دارد [۲۰].

از جمله کارایی‌های مدل‌های پراکنش گونه‌ای، استفاده از آن‌ها در درک و فهم چگونگی اثرگذاری تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی یک گونه می‌باشد. با توجه به اینکه بسیاری از مطالعات مدل‌سازی گونه‌ها معطوف به گونه‌های دارویی و صنعتی بوده است و توجه کمتری به

امروزه موضوع تغییر اقلیم جهانی در اثر فعالیت‌های بی‌رویه انسان بیش از هر زمان دیگری توجه کارشناسان و سیاست‌گذاران را در عرصه‌های بین‌المللی به خود معطوف داشته است. تغییرات اقلیمی به طور اساسی بر الگوهای آب و هوایی و توزیع جغرافیایی گونه‌ها تأثیر می‌گذارند [۱]. تغییرات اخیر در شرایط آب و هوایی باعث افزایش فشار روی بسیاری از گونه‌های گیاهی مهم شده و آن‌ها را به آستانه انقراض کشیده است، در این راستا توجه به حفاظت گونه‌های گیاهی به موضوع بسیار مهمی تبدیل شده است [۵]. آزمایش‌های انجام گرفته در سال‌های اخیر دلالت بر کنترل بالقوه اقلیم بر روی پراکنش گیاهان و بیشترین تأثیرپذیری آن‌ها از شرایط محیطی دارد [۳] به گونه‌ای که ویژگی‌های اقلیمی و پتانسیل‌ها و محدودیت‌های اقلیمی در بلندمدت منجر به تعیین چگونگی پراکنش گونه‌های گیاهی شده و پیش‌بینی می‌شود که این تغییرات آب و هوایی تغییرات مهمی در توزیع طبیعی گونه‌های گیاهی و تنوع زیستی در اکوسیستم‌های طبیعی به وجود می‌آورد [۱۸].

از جمله عوامل اقلیمی مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی می‌توان درجه حرارت، توزیع بارش و خشکسالی را نام برد. با مقایسه الگوهای بارشی و روند تغییرات دما در ارتباط با توزیع گونه‌های مختلف می‌توان اثر تغییر اقلیم بر گونه‌های گیاهی را پیش‌بینی کرد [۱]. مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها، در حال حاضر جزء روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن تغییرات پراکنش جغرافیایی گونه‌های متعدد در پاسخ به تغییرات آب و هوایی را ارزیابی کرد [۱۶، ۲۳]. مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Species Distribution Models) در زمینه مدل‌سازی به عنوان ابزارهای بالقوه در راستای کسب اطلاعات درباره علل پراکنش گونه‌ها و تناسب رویشگاه برای گونه‌های گیاهی محسوب می‌شوند که برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌های طبیعی می‌توان با استفاده از این مدل‌ها، مناطقی که گونه‌های حساس با احتمال بالایی

سال ۱۳۹۲ و بازدید میدانی استفاده گردید [۸]. به منظور نمونه برداری از روش تصادفی طبقه بندی شده استفاده گردید، به این ترتیب که ابتدا منطقه مطالعاتی براساس خصوصیات محیطی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) به یک سری پلی گون های همگن شکسته شد و سپس اقدام به نمونه برداری به صورت تصادفی در بین این مناطق همگن گردید. در فرآیند مدل سازی از ۶۰ مکان ر خداد در شهرستان های فریدون شهر، سمیرم، شهرضا، ارتفاعات نظنز و کاشان استفاده شد (شکل ۱).

۳،۲. متغیرهای محیطی

در این مطالعه ۱۹ متغیر اقلیمی و یک متغیر فیزیوگرافی (ارتفاع) با اندازه پیکسل (۱ کیلومتر) جهت مدلسازی پراکنش گونه مورد مطالعه استفاده گردید. (جدول ۱). متغیرهای اقلیمی اخذ شده از سایت worldclim می باشد که داده های مربوط به حال حاضر در حقیقت از پهنه بندی داده های بارش و درجه حرارت بازه زمانی ۲۰۰۰ - ۱۹۵۰ تولید گردیده است و متغیرهای اقلیمی آینده برای دو سال ۲۰۵۰ (میانگین پیش بینی سال های ۲۰۴۱ و ۲۰۶۰) و ۲۰۷۰ (میانگین پیش بینی سال های ۲۰۶۱ - ۲۰۸۰) تحت دو سناریو Rcp2/6^۱ و Rcp8/5 از مدل گردش عمومی جو [CCSM4^۲] استفاده شده است. این مدل ها در گزارش پنجم هیأت بین الدول تغییر اقلیم^۳ (IPCC) ذکر شده است.

۴،۲. مدلسازی پراکنش گونه ای

روش حداکثر آنتروپی یکی از پرکاربردترین روش های پیش بینی پراکنش گونه ای است. این روش به برآورد توزیع گونه های گیاهی با استفاده از داده های فقط حضور پرداخته و به اطلاعات عدم حضور گونه نیازی ندارد و به

گونه های علوفه ای شده است، در این مطالعه از مدل Maxent برای پیش بینی توزیع گونه مهم علوفه ای *Br.tomentellus* Boiss در استان اصفهان با هدف استفاده از مدل توزیع گونه (SDM) برای شناسایی رویشگاه اقلیمی بالقوه این گونه در حال حاضر و بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی آن در آینده و تعیین منحنی عکس العمل گونه نسبت به متغیرهای محیطی استفاده شده است تا قدمی مؤثر در راستای حفاظت و مدیریت صحیح رویشگاه این گونه مهم مرتعی برداریم.

۲. روش شناسی

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۲۹ کیلومتر مربع با مختصات جغرافیایی ۳۰°۴۲' تا ۳۰°۴۳' عرض شمالی و ۴۹°۳۶' تا ۴۹°۵۴' طول شرقی می باشد. تغییرات شدید ارتفاع از ۷۰۷ تا حدود ۴۰۰۰ متر و تأثیر آن بر بیشتر عناصر اقلیمی، باعث حاکمیت اقلیم مختلف در استان شده است. استان اصفهان در مرکز فلات ایران قرار دارد که ارتفاع متوسط آن ۱۶۰۵ متر می باشد.

در منطقه مورد مطالعه علاوه بر این که گونه *Br.tomentellus* توانسته به تنهایی تشکیل تیپ دهد با سایر گونه های گیاهی همچون *Astragalus adscendens*، *Pteroccephalus canus*، *Daphne mucronata* و *Allium ascalanicum*، *Tragopogon Spp* و *Trigonella elliptica* نیز تشکیل تیپ داده است.

۲،۲. نقاط ر خداد گونه

برای تعیین مکان های حضور گونه مورد مطالعه از نقشه پوشش گیاهی تهیه شده توسط فیضی و همکاران در

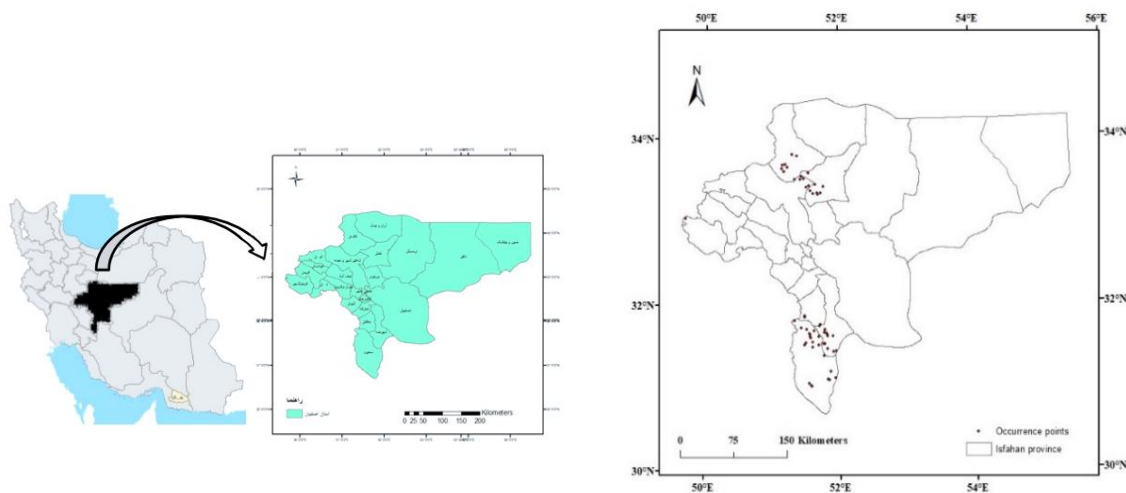
^۱Community Climate System Model

^۲Inter-governmental Panel on Climate Change

^۳Representative Concentration Pathways

[۱۶،۱۲،۷]

جای آن از نقاط پس‌زمینه (که یک نمونه تصادفی از نقاط عدم حضور در منطقه می‌باشد) استفاده می‌کند



شکل ۱. موقعیت نقاط برداشت شده، حال حاضر گونه *Bromus tomentellus* Boiss در استان اصفهان

جدول ۱. متغیرهای محیطی استفاده شده در مطالعه

واحد	نام اختصاری	متغیر محیطی	ردیف
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۱	دمای متوسط سالانه	۱
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۲	میانگین دمای روزانه	۲
-	Bio۳	هم‌دمایی	۳
انحراف معیار* ۱۰	Bio۴	فصلی بودن دما	۴
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۵	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	۵
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۶	حداقل دمای سردترین ماه	۶
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۷	محدوده سالانه دما	۷
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۸	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل	۸
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۹	میانگین دمای خشک‌ترین فصل	۹
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۱۰	میانگین دمای گرم‌ترین فصل	۱۰
درجه سانتی‌گراد* ۱۰	Bio۱۱	میانگین دمای سردترین فصل	۱۱
میلی‌متر میانگین ماهانه	Bio۱۲	بارش سالانه	۱۲
میلی‌متر میانگین ماهانه	Bio۱۳	بارش مرطوب‌ترین ماه	۱۳
میلی‌متر میانگین ماهانه	Bio۱۴	بارش خشک‌ترین ماه	۱۴
ضریب تغییرات	Bio۱۵	فصلی بودن بارش	۱۵
میلی‌متر میانگین ماهانه	Bio۱۶	بارش مرطوب‌ترین فصل	۱۶
میلی‌متر میانگین ماهانه	Bio۱۷	بارش خشک‌ترین فصل	۱۷
میلی‌متر میانگین ماهانه	Bio۱۸	بارش گرم‌ترین فصل	۱۸
میلی‌متر میانگین ماهانه	Bio۱۹	بارش سردترین فصل	۱۹
متر	Elevation	ارتفاع	۲۰
درجه	Slope	شیب	۲۱
-	Aspect	جهت	۲۲

متغیرهایی که پررنگ شده‌اند با استفاده از همبستگی پیرسون برای استفاده در مدل انتخاب شده‌اند.

بیانگر وضعیت از تولید گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر کنترل تولید این گازها می‌باشد. هر یک از این سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تحول فناوری، سطح زندگی و گزینه‌های موجود تولید انرژی استوار می‌باشند که به آن‌ها سناریوهای انتشار نیز اطلاق می‌شود [۲۵].

هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود AR5 از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های چهارخط سیر کلیدی گازهای گلخانه‌ای با نام‌های RCP2/6، RCP4/5، RCP6، RCP8/5 استفاده کرده است.

۳. نتایج

۳.۱. مدل حداکثر آنتروپی

نتایج مدل حداکثر آنتروپی برای گونه *Bromustomentellus* با AUC برابر با ۹۹ درصد نشان‌دهنده عملکرد بالای مدل در پیش‌بینی رخداد گونه را دارد. بارش گرمترین فصل (Bio18) بیشترین سهم را در پراکنش گونه دارد و بعد از آن ارتفاع از سطح دریا و بارش گرمترین فصل (Bio18) بیشترین تأثیر را در پراکنش گونه مورد مطالعه دارند.

همچنین عوامل اقلیمی همچون بارش سالانه (Bio12)، محدوده سالانه دما (Bio7)، هم‌دمایی (Bio3) و میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (Bio8) نیز از اهمیت برخوردار می‌باشند (شکل ۲).

منحنی‌های پاسخ گونه نسبت به متغیرهای محیطی که بیشترین تأثیر گذاری را در پراکنش اقلیمی گونه *Br. Tomentellus* دارند و دامنه بردباری آن‌ها در شکل ۳ ارائه شده است. سایه‌های آبی رنگ اطراف منحنی‌ها بیانگر

در این مطالعه از ۷۵ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی و ۲۵ درصد آن‌ها به عنوان داده‌های آزمون استفاده شد [۱۷]. آزمون جک نایف برای ارزیابی اهمیت هر کدام از متغیرهای محیطی در فرایند مدلسازی استفاده شد و با تحلیل مساحت زیر منحنی (AUC) به ارزیابی کیفیت کلی مدل پرداخته شد. دامنه این شاخص از صفر تا ۱ تغییر می‌کند. مقدار ۰/۵ یعنی مدل کاملاً تصادفی است و توانایی پیش‌بینی حضور و غیاب مکان‌های جدید را ندارد و مقادیر نزدیک به یک بیانگر مدل با قدرت پیش‌بینی بالا می‌باشند [۲۲].

برای نمایش بهتر پراکنش حال حاضر و آینده گونه‌های مورد مطالعه، نقشه‌های خروجی مدل حداکثر آنتروپی در محیط ArcGIS 9.3 با احتمال رخداد بین ۰ تا ۱ به چهار طبقه، گروه‌بندی شدند. این گروه‌ها شامل، روی شگانه نامنا سب (۰/۲۵ - ۰)، روی شگانه تقریباً مناسب (۰/۷۵ - ۰/۵) و روی شگانه با تناسب خیلی بالا (۰/۷۵ - ۱) را نشان می‌دهد.

۳.۲. مدل گردش عمومی و سناریوهای انتشار

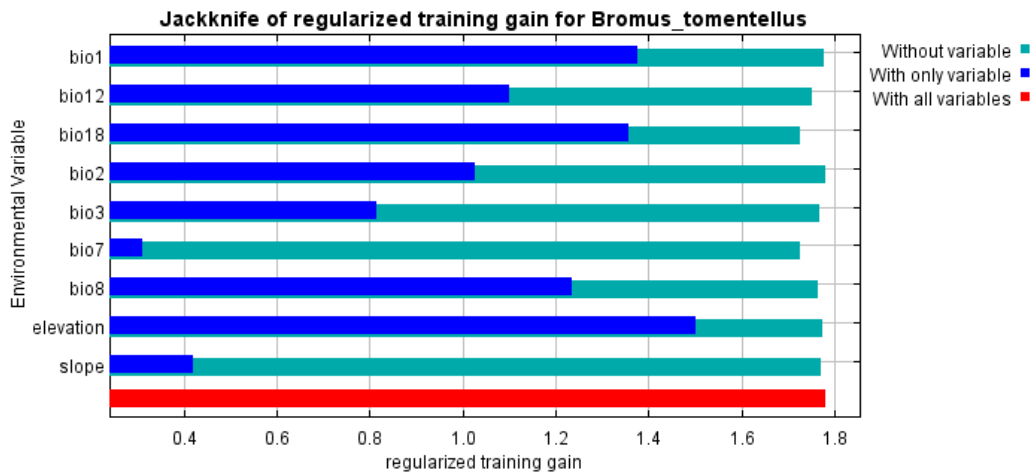
مدل‌های گردش عمومی جو مدل‌هایی هستند که به منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند و قادر هستند تا تغییرات اقلیم کره زمین را پیش‌بینی کنند. هدف مدل‌های گردش عمومی پیش‌بینی تحول زمانی جو می‌باشد [۲۴]. براساس افزایش گازهای گلخانه‌ای جو زمین شامل دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، بخار آب و ذرات سولفات می‌باشد که در اثر فعالیت بشر تولید می‌شوند. از موارد خاص مورد توجه، افزایش سریع دی‌اکسید کربن در اتمسفر، به علت سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌باشد. این پیش‌بینی‌ها براساس سناریوهای مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک

^۱IPCC Fifth Assessment Report

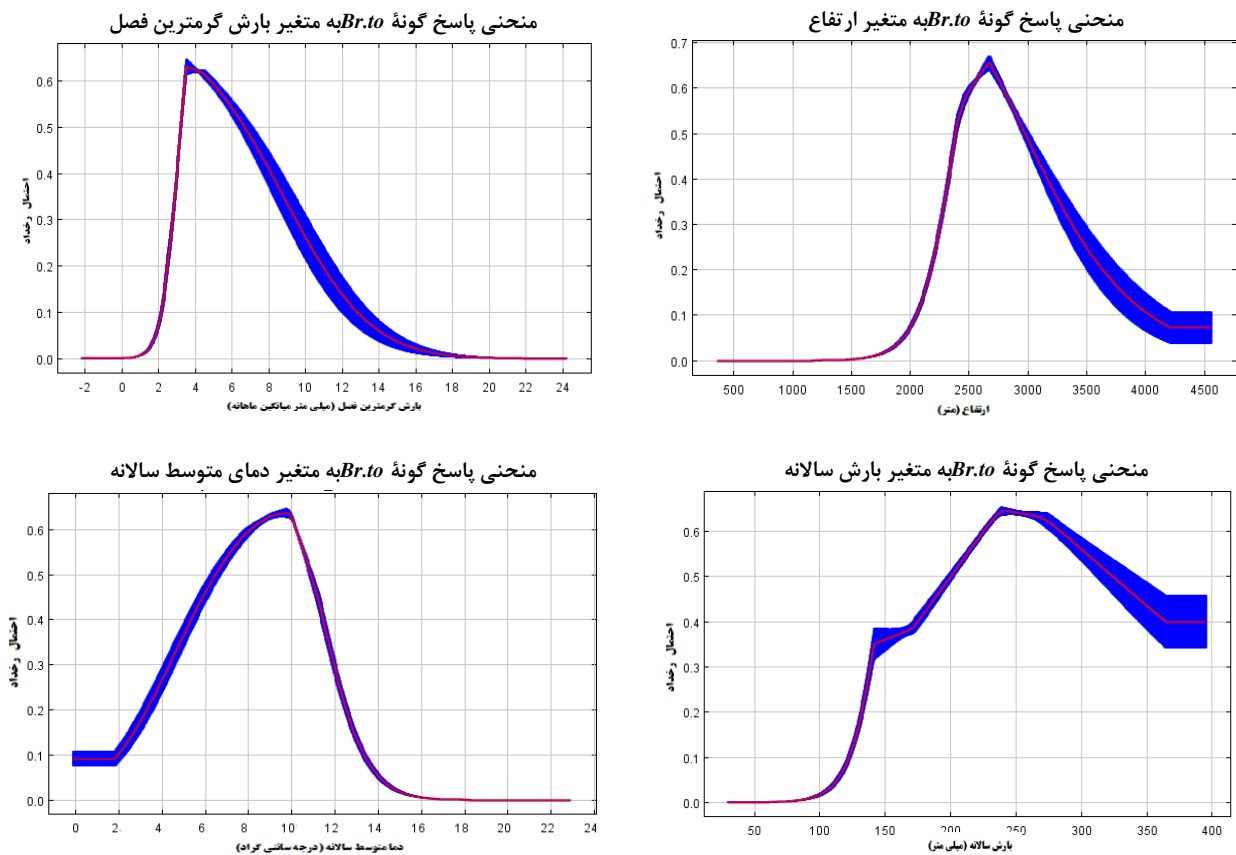
^۱Area under the curve

دمای مرطوب‌ترین فصل، دمای متوسط سالانه و بارش سالانه حالت گوسی دارد.

میزان خطای معیار در پیش‌بینی حضور گونه رانشان می‌دهند. با توجه به شکل ۳ منحنی عکس‌العمل گونه نسبت به متغیرهای ارتفاع، بارش گرم‌ترین فصل، میانگین



شکل ۲. آزمون جک نایف جهت بررسی اهمیت متغیرهای محیطی در پیش‌بینی پراکنش گونه *Bromus tomentellus* Boiss

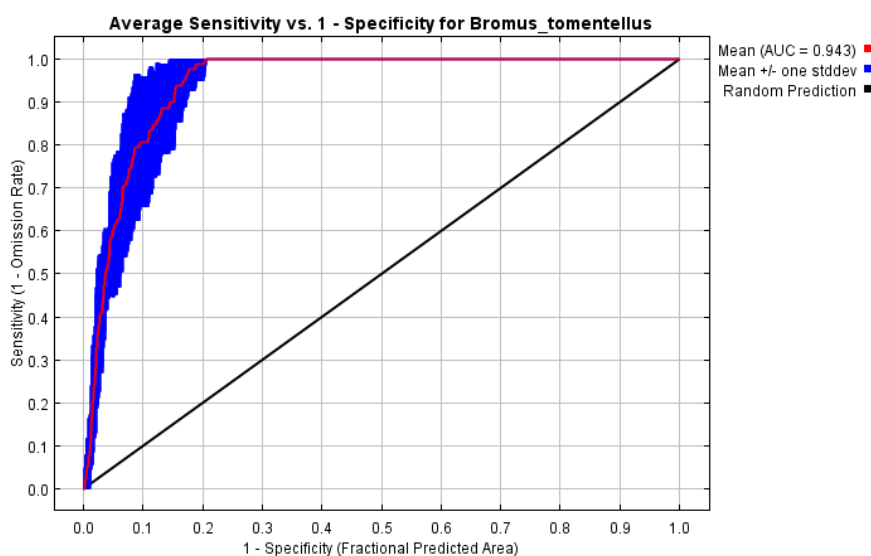


شکل ۳. مهم‌ترین منحنی‌های پاسخ *Br.tomentellus* به متغیرهای محیطی

دمای متوسط سالانه تا حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد احتمال حضور گونه افزایش می‌یابد و از آن پس سیر نزولی منحنی را شاهد هستیم.

شکل ۴ مربوط به سطح زیر منحنی و آماره AUC محاسبه شده با مدل می‌باشد. با توجه به مقادیر AUC و براساس طبقه‌بندی سطح زیر منحنی Sweet دقت مدل پیش‌بینی برای گونه *Br.tomentellus* عالی برآورد می‌شود [۲۲].

با افزایش ارتفاع تا حدود ۲۶۰۰ متر احتمال حضور گونه مورد مطالعه افزایش می‌یابد و از آن پس منحنی سیر نزولی در پیش می‌گیرد. دامنه اکولوژیک متغیر ارتفاع برای گونه *Br.tomentellus* حدود ۱۸۰۰ متر تا ۳۸۰۰ متر می‌باشد. محدوده اکولوژیک بارش گرم‌ترین فصل گونه مورد بررسی ۱۴-۲ میلی‌متر است. با افزایش بارش سالانه احتمال رخداد گونه افزایش می‌یابد. با افزایش



شکل ۴. منحنی ROC

که این امر به دلیل عدم استفاده از سایر متغیرهای محیطی دخیل در پراکنش این گونه همچون عوامل ادافیکی و فاکتورهای زیستی همچون رقابت می‌باشد (شکل ۳ الف).

۳،۳. پیش‌بینی پراکنش بالقوه آینده برای

سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰

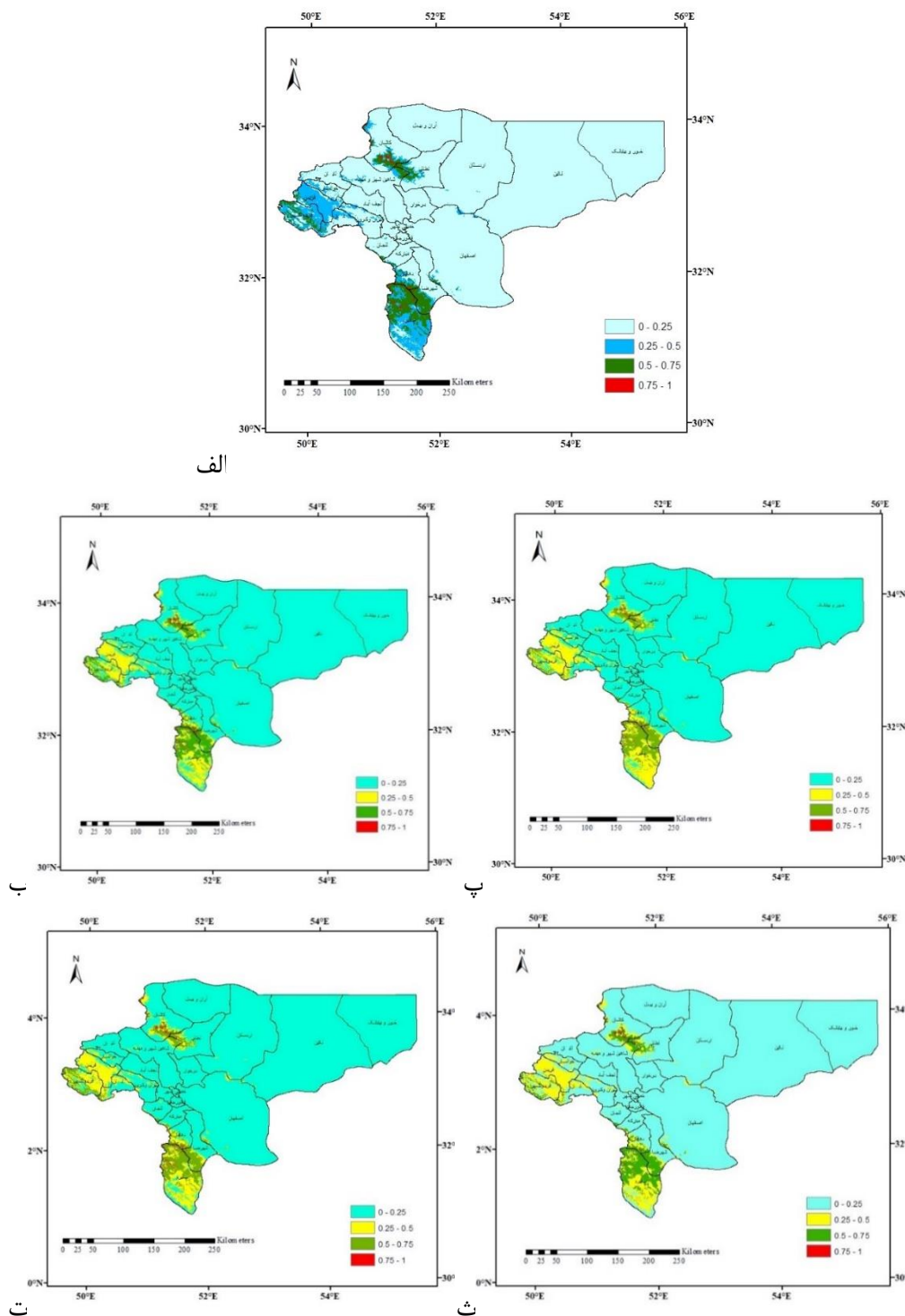
با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی رویشگاه بالقوه گونه *Bromus tomentellus* تحت دو سناریو Rcp2/6 و Rcp8/5، مدل گردش عمومی CCSM4 برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ پیش‌بینی شد (شکل ۳). بدین صورت که تحت سناریو Rcp2/6 در سال ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ (شکل ۳، پ و ث)

۲،۳. پراکنش بالقوه پیش‌بینی شده در حال حاضر

مدل حداکثر آنتروپی رویشگاه حال حاضر گونه *Bromus tomentellus* را در مناطق شمال غرب، جنوب و در منطقه غرب استان اصفهان پیش‌بینی کرده است، به گونه‌ای که بیشترین احتمال رخداد این گونه نسبت به کل استان اصفهان در قسمت‌هایی از شهرستان‌های سمیرم، ارتفاعات نطنز و فریدونشهر مشاهده می‌گردد که مساحتی معادل ۵۱۳۲ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. کمترین احتمال رخداد گونه در قسمت‌های شرقی استان پیش‌بینی شده است. منطقه پیش‌بینی شده برای حال حاضر گونه مساحتی وسیع‌تر از مناطق حضور گونه دارد

تحت سناریو Rcp8/5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰، (شکل ۳، ب و ت) ۱۹ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت.

مناطق از استان که دارای بیشترین احتمال رخداد گونه *Bromus tomentellus* هستند، ۱۰۵ کیلومتر مربع افزایش و



شکل ۴. نقشه‌های آشیان اکولوژیک اقلیمی حال حاضر و تحت سناریوهای اقلیمی سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ گونه *Br. Tomentellus* در سطح استان اصفهان

۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج AUC حاصل از خروجی مدل حداکثر آنتروپی (ارزیابی مدل) نشان داد که عملکرد مدل حداکثر آنتروپی در پیش‌بینی پراکنش گونه *Br. tomentellus* عالی است. تحقیقات زیادی نشان داده است که مدل حداکثر آنتروپی توانایی بالایی در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای داشته و نسبت به اندازه نمونه حساسیت کمی دارد. ایشان به بررسی اثر اندازه نمونه (سه گروه اندازه نمونه مختلف) در مدل‌های مختلف آماری پراکنش گونه‌ای پرداختند و نشان دادند که مدل مکسنت در تمامی اندازه‌نمونه‌ها دارای کارایی بالایی نسبت به سایر مدل‌ها است و همچنین از حساسیت کمتری نسبت به اثر اندازه نمونه برخوردار است [۷].

همچنین این مدل می‌تواند پراکنش گونه را تحت سناریوهای مختلف اقلیمی پیش‌بینی نماید و تفسیر اکولوژیک مناسبی از چگونگی پراکنش این گونه تحت شرایط مختلف محیطی در اختیار کاربران ارائه دهد. گونه *Br. tomentellus* محیط‌های سرد و مرطوب را برای استقرار ترجیح می‌دهد و در استان اصفهان در اقلیم سرد و نیمه سرد یافت می‌شود [۲۰ و ۲۱]. با توجه به منحنی عکس‌العمل گونه نسبت به ارتفاع می‌توان اظهار داشت که گونه مورد مطالعه در محدوده ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از احتمال رخداد بیشتری برخوردار است و در بعضی از مناطق محدوده حضور این گونه تا ارتفاع ۴۵۰۰ متری به شرط مناسب بودن شرایط خاک نیز ادامه دارد. برخی محققین نیز دریافتند که حضور این گونه در مناطق رویشی استپی در ارتفاعات ۳۰۰۰ - ۲۲۰۰ متر رخ می‌دهد. همچنین دامنه بارش سالیانه بین ۲۴۰ تا ۲۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد، بهترین شرایط رخداد گونه را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد [۲۰ و ۶].

عوامل محیطی همچون خاک و اقلیم، پوشش گیاهی

را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند و میزان بارش، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و درجه حرارت مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده رویشگاه بالقوه گونه‌های گیاهی می‌باشند [۹]. همچنین تأثیر عوامل زیستی همچون رقابت، چرای دام و ... روی پراکنش گونه‌های گیاهی امری اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به مطالب گفته شده باید اظهار داشت که در این مطالعه، آشیان اکولوژیک اقلیمی گونه مورد بررسی قرار گرفته است که می‌تواند از آشیان اکولوژیک واقعی گونه متفاوت باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که مساحت رویشگاه اقلیمی بالقوه گونه مورد مطالعه بیشتر از مساحت فعلی آن است. با توجه به تغییر توزیع بارش در سال‌های آینده و همچنین گرم شدن هوا می‌توان اظهار داشت که مساحت اشغال شده توسط این گونه تحت تأثیر تغییرات اقلیمی دستخوش تغییر قرار خواهد گرفت. مساحت رویشگاه گونه *Br. tomentellus* تحت سناریو Rcp2/6 در سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد ولی در سال ۲۰۷۰ افزایش مساحت را شاهد هستیم. تحت سناریو Rcp8/5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ مساحت رویشگاه بالقوه این گونه کاهش می‌یابد که این امر به دلیل کاهش بارش و افزایش درجه حرارت در منطقه مطالعاتی است. نتایج مطالعه ای بیان می‌کند که در آینده با افزایش غلظت CO₂ گیاهان سه کربنه رشد بیشتر و توانایی رقابتی بیشتری در برابر گیاهان چهارکربنه خواهند داشت [۱۴]. با توجه به اینکه گونه *Bromus tomentellus* نیز گیاهی سه کربنه است و بایستی طی افزایش کربن دی‌اکسید توان رقابتی بالایی نسبت به سایر گیاهان چهار کربنه پیدا کند، تحت سناریو Rcp2/6 مساحت رویشگاه بالقوه اقلیمی این گونه افزایش می‌یابد ولی براساس نتایج به دست آمده از سناریوی Rcp8/5 تا سال ۲۰۷۰ با کاهش ناچیزی از سطح مساحت این گونه مواجه هستیم که با بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی، متغیر بارش سالانه (Bio12) تحت سناریوی Rcp8/5 تا سال ۲۰۷۰ کاهش می‌یابد. عوامل دیگری

غیر خو شخوراک خواهد داد. این گونه جایگاه ارز شمندی در عرصه منابع طبیعی تجدید شونده دارد.

امروزه در نتیجه فشار چرای دام، با کاهش گونه‌های گیاهی مرغوب و پرتولید مرتعی و همچنین فرسایش شدید خاک مواجه هستیم. این امر ضرورت توجه مدیران منابع طبیعی به برخی گونه‌های گیاهی که بتوانند ضمن حفاظت خاک از تولید قابل توجهی برخوردار باشند را نشان می‌دهد. گونه *Bromus tomentellus* از تولیدکنندگان مهم مراتع نیمه استپی محسوب می‌شود که به دلیل سیستم ریشه‌ای قوی به خوبی می‌تواند سطح خاک را پوشش دهد و در حفاظت خاک و کاهش رواناب سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که حفاظت و تجویز آن می‌تواند باعث افزایش نفوذ آب و تقویت ذخایر آب زیر زمینی گردد. یافته‌های این مطالعه می‌تواند جهت انجام فعالیت‌های اصلاحی و کشت و معرفی مجدد این گونه در مراتع استان اصفهان مورد استفاده قرار گیرد و مکان‌های مناسب از لحاظ اقلیمی جهت حفاظت و کشت این گونه را شناسایی کرد. همچنین با استفاده از این مدل‌ها می‌توان اقدام به تهیه اطلس گیاهی نموده و اثر تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های مهم مرتعی را نشان داد.

همچون مدیریت غیر اصولی و چرایبی رویه از مراتع، توزیع نامنظم بارش و تغییر کاربری اراضی نیز به شدت بر بقا و پایداری گونه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارند. شدت چرا باعث فشردگی بیشتر خاک و نیز کاهش اندام هوایی گیاه *Bromus tomentellus* شده و عمق ریشه‌دوانی گیاه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و این امر باعث کاهش سطح رویشگاه این گونه در صورت عدم اجرای مدیریت صحیح چرای دام در سال‌های آینده می‌شود [۱۰]. گرایش تغییرات محدوده اکولوژیک گونه به این صورت است که در سال‌های آینده و تحت تأثیر تغییر اقلیم در ارتفاعات بالاتری شاهد استقرار این گونه خواهیم بود و احتمال حضور گونه در ارتفاعات پایین‌تر کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر آشیان اکولوژیک این گونه در سال‌های آتی به سمت مناطق مرتفع‌تر پیش خواهد رفت و در ارتفاعات پایین، گستره پراکنش جغرافیایی گونه محدودتر می‌شود. لازم به ذکر است که در این مطالعه رویشگاه گونه مورد مطالعه از نظر شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده است و در صورتی که شرایط مدیریت چرای نامناسب باشد به دلیل اینکه گونه مورد مطالعه خوشخوراک محسوب می‌شود، این گونه حذف شده و جای خود را به گونه‌های بوته‌ای و گونه‌های

References

- [1] Ashraf, U., Peterson, A.T., Nawaz Chaudhry, M., Ashraf, I., Saqib, Z., Rashid Ahmad, S. and Ali, H. (2017). Ecological niche model comparison under different climate scenarios: a case study of *Olea* spp. In *Asia. Ecosphere*, 8(5), 1-13.
- [2] Austin, M.P. (۲۰۰۲). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling. *Ecological Modelling*, 57 (2), 101-118.
- [3] Azarnivand, H., Tarkesh Esfahani, M., Basiri, M., Saeedfar, M. and Zare Chahuki, M.A. (2010). Investigation on phenology of *Bromus tomentellus* using growing degree-day method. *Watershed Management Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*. 23 (89), 1-6.
- [4] Danabasoglu, G., Bates, S.C., Briegleb, B.P., Jayne, S.R., Jochum, M., Large, W.G., Peacock, S. and Yeager, S.G. (2012). The CCSM4 Ocean Component. *Journal of Climate*, 25(5), 1361-1389.
- [5] Deb, P., Choudhury, M.R., Singha, H., Chakdar, B. and Medhi, M. (۲۰۱۶). Predicting the probable distribution and threat of invasive *Mimosa diplotricha* Suavalle and *Mikania micrantha* Kunth in a protected tropical grassland. *Ecological Engineering*, 97(4), 23-21.

- [6] Eftekhari, M., (2007). Autoecology study *Bromus tomentellus* in Isfahan province. Research project of Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center.
- [7] Elith, J., Graham, C. H. and Anderson, R. P. (2006). Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29 (2), 129-151.
- [8] Feyzi, M.T., Jaberalansar, Z., Shirani, K. and Khodaghali, M. (2013). Ecological area recognition plan of the country, Plant Brigades of Isfahan Province, Forestry and Rangeland Research Institute of the Country, Tehran, Iran.
- [9] Heshmati, Gh. and Karimian, V. (2014). Prediction of the distribution of rangeland species richness using environmental variables using species dispersion models (SDM). *Quarterly Journal of Agricultural Engineering and Natural Resources Engineering*. 46(12), 38-42.
- [10] Ghelijnia, H., Shahmoradi, A.A. and Zarekia, S. (2008). *Iranian journal of Range and Desert Research*, 15 (3), 348-359.
- [11] Guisan, A. and Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135 (2), 147-186.
- [12] Kumar, S. and Stohlgren, T.J. (2009). Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and natural Environment*, 4 (1), 94-98.
- [13] Li, J. and Hilbert, D. (2008). LIVES: a new habitat modeling technique for predicting the distribution of species occurrences using presence-only data based on limiting factor theory. *Biodiversity and conservation*, 17(3), 3079-3095.
- [14] Miri, H.R. and Rastegar, A. (2012). Effect of CO₂ enrichment on growth and competitiveness of soybean and millet against lambs quarters and pigweed. *Electronic Journal of Crop Production*. 5(1), 1-18.
- [15] Moghimi, J. (2005). Introduction of some important species suitable for development and improvement of Iranian rangelands, Aron, Tehran.
- [16] Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M. and Peterson, A. T. (2007). Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34 (1), 102-117.
- [17] Philips, S.J. and Dudik, M. (۲۰۰۸). Modelling of species distribution with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31 (2), 161-175.
- [18] Qin, A., Liu, B., Quanshui, G., Bussman, R., Ma, F., Jian, Z. and Pei, SH. (2017). Maxent modeling for predicting of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuensis* Franch. An extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology Conservation*, 10(17), 139-146.
- [19] Rashvand, S., Yeganeh, H. and Sanaei, A. (2014). Study of phenology process of two species *Bromus tomentellus* and *Festuca ovina* on Alamut station of Ghazvin province. *Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology)*, 27(4), 635-646.
- [20] Saboohi, R. and Khodaghali, M. (2013). Studying the acclimation of *Bromus tomentellus* in Isfahan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2(4), 57-72.
- [21] Sadeghian, S., Tayebi Khorrami, M. and Habibian, S.H. (2005). Phenology study of four rangeland species at Dehbid site of Fars. *Iranian Natural Resources Journal*, 57(2), 1-10.
- [22] Sweet, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1289-1293.
- [23] Williams, S.E., Bolitho, E.E. and Fox, S. (2003). Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *Proceedings of the Royal Society of London*, 270, 1887-1892.
- [24] Xu, C. y. (1999). From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Progress in physical Geography*, 23(2), 229-249.
- [25] <http://www.worldclim.org/misc/favicon.ico>

