

بررسی مطلوبیت رویشگاه و طراحی ارتباط‌های رویشگاهی گیاه مرتعی گل گندم بهبهانی (*Centaurea pabotii*) در جنوب غربی ایران به عنوان مهاجم مزارع گندم

- ❖ کامران الماسیه*؛ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
- ❖ امین ذرتی‌پور؛ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
- ❖ کاظم نگارش؛ استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

چکیده

گیاه مرتعی گل گندم بهبهانی (*Centaurea pabotii*) یکی از گونه‌های خانواده Asteraceae است که اندمیک ایران بوده و به طور عمده در مزارع گندم جنوب غرب کشور پراکنش دارد. مطالعه‌ای با هدف پیش‌بینی مناطق مطلوب رویشگاهی و طراحی ارتباط‌های رویشگاهی این گونه در چهار استان خوزستان، بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه با ۲۵ نقطه حضور گل گندم بهبهانی و هشت متغیر محیط زیستی در بسته Biomod2 در محیط نرم‌افزار R بر اساس شش مدل مطلوبیت رویشگاه انجام شد و نقشه تجمعی حاصل از مدل‌ها در طراحی ارتباط‌های رویشگاهی به روش مدارهای الکتریکی در نرم‌افزار Circuitscape استفاده شد. نتایج مطلوبیت رویشگاه نشان داد که عمده مناطق مطلوب رویشگاهی گل گندم بهبهانی در استان خوزستان واقع است که متغیرهای ارتفاع، بارندگی سالانه و فاصله از زمین‌های کشاورزی بیشترین تأثیر را در مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه داشته‌اند. طراحی ارتباط‌های رویشگاهی نشان داد که بیشترین تراکم جریان حرکت گل گندم بهبهانی در شمال، شرق و جنوب شرق استان خوزستان واقع است که این جریان حرکت از جنوب شرقی استان خوزستان به سمت استان کهگیلویه و بویراحمد نیز کشیده شده است. اما تراکم جریان حرکت گل گندم بهبهانی در استان‌های بوشهر و فارس بسیار ناچیز بوده و این مناطق منزوی تشخیص داده شدند. در کل، مزارع گندم استان خوزستان بیشتر در خطر هجوم و انتشار گونه گل گندم بهبهانی قرار دارند و اتخاذ تمهیدات خاص از سوی مدیران جهاد کشاورزی استان خوزستان در مواجهه با این گونه مهاجم مزارع گندم، ضروری به نظر می‌رسد.

کلید واژگان: بسته Biomod2، تراکم جریان حرکت، جنوب غربی ایران، مدارهای الکتریکی.

۱. مقدمه

مدل‌های مطلوبیت رویشگاه (HSMs^۱) به صورت گسترده در مدلسازی رویشگاه گونه‌های گیاهی و جانوری کاربرد دارد [۷، ۲]. این مدل‌ها نشان داده‌اند که می‌توانند در پیش‌بینی رویشگاه‌های مطلوب گونه‌های گیاهی و جانوری موفق باشند [۱۶، ۱]. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که مدل‌های مطلوبیت رویشگاه با استفاده از متغیرهای محیط زیستی مانند متغیرهای اقلیمی می‌توانند در مدلسازی توزیع گونه‌های مهاجم گیاهان زراعی مناسب باشند [۱۴، ۸]. نقشه‌های مطلوبیت رویشگاه گیاهی می‌توانند به منظور تهیه نقشه ارتباط‌های رویشگاهی^۲ مورد استفاده قرار گیرند [۲۵].

ارتباط رویشگاهی به هرگونه جابه‌جایی موجودات زنده در رویشگاه‌های آن‌ها گفته می‌شود [۱۱] و در کل، ارتباط‌های رویشگاهی باعث جریان ژن، گسترش محدوده پراکنش و استقرار جمعیت‌های جدید می‌شود [۲۵، ۱۹]. یک مورد سازگاری گیاهان در مقابل تغییرات اقلیم، افزایش ارتباط‌های رویشگاهی سیمای سرزمین است. این شرایط، فرصت مناسبی را در اختیار گیاهان مهاجم به منظور افزایش محدوده انتشار خود قرار می‌دهد [۳۲].

یکی از روش‌هایی که به طور گسترده در طراحی ارتباط‌های رویشگاهی استفاده می‌شود نظریه مدارهای الکتریکی^۳ است که به تازگی به عنوان مدل جریان ژن در سیمای سرزمین به کار می‌رود [۲۱]. این نظریه بر اساس گشت تصادفی^۴ بوده و از اصول مدارهای الکتریکی استفاده می‌کند. بدین ترتیب، جریان (موجود زنده) در میان گره‌های کانونی^۵ (نقاط حضور یا لکه‌های رویشگاهی) با در نظر گرفتن ولتاژ (احتمال حرکت موجود زنده) و مقاومت (نفوذ پذیری رویشگاه) حرکت می‌یابد [۳۱]. نظریه مدارهای الکتریکی، امکان شناسایی مسیرهای مختلف

ارتباط را میان نقاط حضور فراهم می‌آورد و از این لحاظ بر نظریه حداقل هزینه که فقط یک مسیر ارتباط را معرفی می‌کند، برتری دارد [۳۷]. این روش هرچند که به نسبت جدید است اما نشان داده که می‌تواند در مدلسازی جریان ژن در سیمای سرزمین بسیار مفید واقع شود [۲۲].

جنس گل‌گندم (*Centaurea L.*) متعلق به خانواده آفتابگردان (*Asteraceae*) است و ۱۰۴ گونه از آن در سرتاسر ایران به صورت خودرو رویش می‌کنند [۲۹، ۳۸، ۲۷]. گیاه مرتعی گل‌گندم بهبهانی (*Centaurea pabotii* Wagenitz) اندمیک ایران بوده و به طور عمده در استان خوزستان پراکنش دارد [۲۸]. گونه گل‌گندم بهبهانی که در جنوب و جنوب غرب ایران یافت می‌شود به عنوان عنصری زاگرسی شناخته می‌شود که در مزارع گندم و کنار جاده‌ها دیده می‌شود [۲۷]. این گیاه دو ساله بوده و دارای قد تا ۶۰ سانتی‌متر، برگ‌های سخت و منقسم، گل‌آذین کپه، گریبان تخم‌مرغی شکل، فیلاری‌ها چندسری و چرمی، گل‌های زرد رنگ (گلچه‌های کناری نازا و گلچه‌های مرکزی دوجنسی) و میوه فندقه همراه با پاپوس است [۲۸]. با توجه به مجاورت این گیاه با مزارع کشت گندم به نظر می‌رسد که این گیاه می‌تواند به عنوان گونه مهاجم گندم زراعی مطرح باشد [۲].

مطالعه پیشین بر روی گونه گل‌گندم بهبهانی، افزایش محدوده پراکنش آن را تا سال ۲۰۷۰ میلادی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پیش‌بینی کرد [۲]. مطالعه حاضر با هدف تعیین مناطق مطلوب رویشگاهی گونه گیاه مرتعی گل‌گندم بهبهانی با یک رویکرد تجمعی و همچنین، طراحی ارتباط‌های رویشگاهی این گونه برای مشخص نمودن مناطق با تراکم بالای جریان حرکت گل‌گندم بهبهانی انجام شد. مناطق دارای ارتباط‌های رویشگاهی بالا می‌توانند نواحی انتشار گونه گل‌گندم بهبهانی محسوب شوند که

¹ Habitat Suitability Models

² Habitat connectivity

³ Electrical circuit theory

⁴ Random walk

⁵ Focal nodes

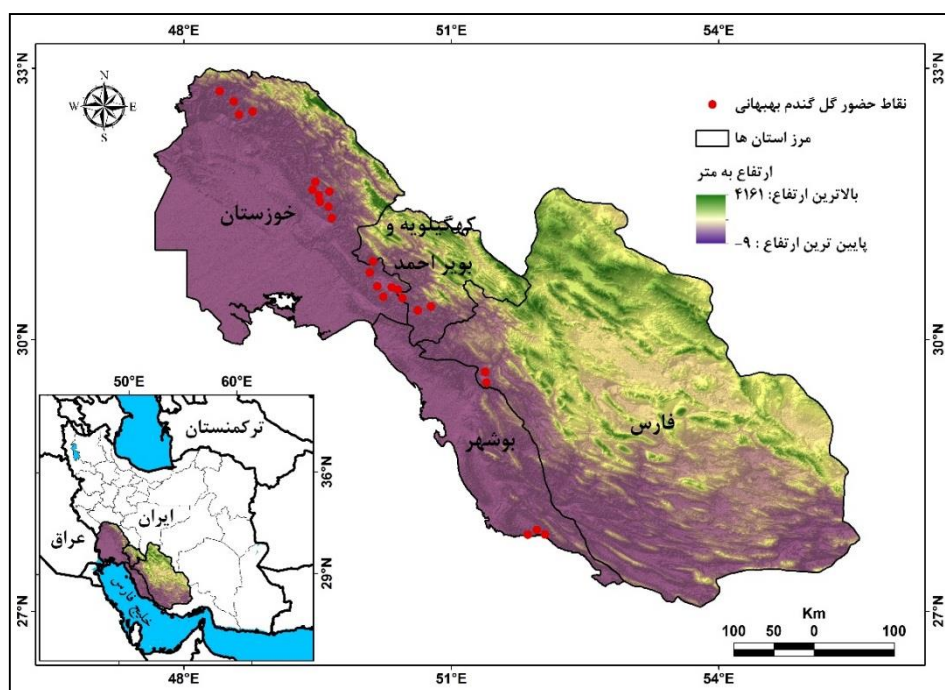
تابستان‌های گرم با میانگین دمای حدود ۳۷ درجه سلسیوس و زمستان‌های ملایم با میانگین دمای حدود ۱۷ درجه سلسیوس است (بر اساس میانگین ایستگاه‌های هواشناسی شهرهای آبادان، اهواز، رامهرمز، امیدیه، بندردیلیم و بوشهر در سال ۲۰۱۰ میلادی) [۲۰]. موقعیت دیگر، مناطق کوهستانی شمال و شرق خوزستان، شرق بوشهر و مناطق عمده دو استان فارس و کهگیلویه و بویراحمد است که دارای تابستان‌های معتدل با میانگین دمای ۲۵ درجه سلسیوس و زمستان‌های سرد با میانگین دمای ۶ درجه سلسیوس است (بر اساس میانگین ایستگاه‌های هواشناسی شهرهای آبادان، اقلید، شیراز و یاسوج در سال ۲۰۱۰ میلادی) [۲۰].

باید در زمینه مزارع کشت گندم این مناطق، ملاحظه‌های جدی توسط مدیران جهاد کشاورزی اتخاذ گردد.

۲. روش‌شناسی

۱,۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد است که مساحت آن به حدود ۲۲۳۰۰۰ کیلومتر مربع می‌رسد (شکل ۱). در منطقه مورد مطالعه، دو موقعیت پستی و بلندی کاملاً مجزا وجود دارد. یک موقعیت، دشت‌های وسیع در جنوب و شرق استان خوزستان و در جنوب بوشهر است که دارای



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه شامل استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد به همراه نقاط حضور گونه گل گندم بهبهانی

مرتعی همراه گل گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه می‌توان به *Salvia compressa*, *Salvia syriaca* L., *Lolium perenne* L., *Sinapis arvensis* L., *Vent.* *Physorrhynchus*, *Hordeum marinum* L., *Ixiolirion chamaerapistrum* (Boiss.) Boiss.

سه تیپ غالب گیاهی شامل *Hordeum marinum*-*Avena barbata*-*Lolium perenne*-*Sinapis arvensis* *Phalaris* و *Lolium perenne*-*Plantago exigua minor*-*Eremostachys laevigata*-*Hordeum marinum* در منطقه مورد مطالعه مشاهده شدند. از گونه‌های گیاهی

استفاده شد (شکل ۱).

۳.۲. مدلسازی مطلوبیت رویشگاه

مدلسازی مطلوبیت رویشگاه به منظور تعیین مناطق مطلوب رویشگاهی گیاه گل‌گندم بهبهانی و به کارگیری نقشه مطلوبیت رویشگاه در طراحی ارتباط‌های رویشگاهی این گیاه انجام گرفت. نقشه رویشگاه‌های مطلوب گل‌گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از بسته Biomod2 [۳۶] در محیط نرم‌افزار آماری R تهیه شد [۳۰]. در این پژوهش از سه مدل پایه-رگرسیون (مدل خطی تعمیم یافته (GLM^۲)، مدل افزایشی تعمیم یافته (GAM^۳) و رگرسیون چند متغیره تطبیقی (MARS^۴) و سه مدل ماشین یادگیری (بیشینه آنتروپی (MaxEnt^۵)، جنگل تصادفی (RF^۶) و مدل افزایشی تعمیم یافته (GBM^۷)) برای تعیین مطلوبیت رویشگاه گل‌گندم بهبهانی استفاده شد و در نهایت، نقشه تجمعی^۸ مطلوبیت رویشگاه گل‌گندم بهبهانی از میانگین وزنی ارزش‌های شش مدل ذکر شده تهیه گردید [۳۶].

متغیرهای محیط زیستی شامل متغیرهای پستی و بلندی^۹، اقلیم و پوشش زمین در مدلسازی مطلوبیت رویشگاه گونه گل‌گندم بهبهانی استفاده شدند. متغیر مدل رقومی ارتفاع (DEM^{۱۰}) با اندازه سلول یک کیلومتر به عنوان یک متغیر مهم پستی و بلندی در مدلسازی مطلوبیت رویشگاه به کار برده شد. از متغیر مدل رقومی ارتفاع برای تهیه متغیر شیب در ابزار Spatial Analyst استفاده شد. تابش خورشیدی^{۱۱} بر پراکنش، ترکیب و تولید گیاهان از طریق تاثیر بر فتوسنتز و چرخه آب و

Anchusa italica Retz. *tataricum* (Pall.) Herb.
Anagalis Torilis leptophylla (L.) Reichenb.
Phalaris Matricaria recutita L. *arvensis* L.
Eremostachys laevigata Bunge *minor* Retz.
Galium verum L. *Allium eriophyllum* Boiss.
Onosma bulbotrachum, *Plantago exigua* Murray
Arvena barbata, *Carduus pycnocephalus* L., DC.
Serratula khuzestanica و L. subsp. *Barbata* (Mozaff.) Mozaff. اشاره کرد.

۲.۲. گردآوری نقاط حضور

عملیات میدانی در منطقه مورد مطالعه در طول ماه‌های اسفند تا اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ انجام شد. شناسایی گونه گل‌گندم بهبهانی به وسیله فلور ایرانیکا [۳۸] و بررسی تاکسونومی مجدد این گونه توسط [۲۸ و ۲۹] صورت گرفت. نقاط حضور توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS^۱) با خطای کمتر از ۱۰ متر ثبت شد. با توجه به اینکه فصل بهار زمان رشد و گلدهی گونه گل‌گندم بهبهانی است این بازه زمانی برای شناسایی گونه در سه سال متمادی انتخاب گردید. در مجموع ۳۱ نقطه حضور از گونه مورد نظر گردآوری شد (شکل ۱). برای کاهش خودهمبستگی میان نقاط حضور، میان دو نقطه یا چند نقطه حضور که فاصله آن‌ها کمتر از یک کیلومتر بود یک نقطه حضور باقی ماند. برای این کار از دستور Spatially Rarify Occurrence Data در نرم‌افزار SDMtoolbox استفاده شد [۱۰]. در نهایت، تعداد ۲۵ نقطه حضور برای مطلوبیت رویشگاه گل‌گندم بهبهانی

¹ Global Positioning System

² Generalized Linear Model

³ Generalized Additive Model

⁴ Multivariate Adaptive Regression Splines

⁵ Maximum Entropy

⁶ Random Forest

⁷ Generalized Boosting Model

⁸ Ensemble map

⁹ Topography

¹⁰ Digital Elevation Model

¹¹ Solar radiation

داشتند، برای مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه این گونه به کار برده شدند [۹]. در خاتمه، همبستگی میان متغیرهای محیط زیستی موجود بررسی گردید و با توجه به همبستگی بالای متغیر رقومی ارتفاع با میانگین دمای سالانه، متغیر میانگین دمای سالانه حذف گردید. همچنین، به منظور بررسی همبستگی چندگانه میان هشت متغیر محیط زیستی باقیمانده، ۵۰۰۰ نقطه تصادفی در منطقه مورد مطالعه ایجاد شد و در نرم‌افزار USDM [۲۶] در محیط نرم‌افزار R، شاخص تورم واریانس^۶ بررسی گردید. شاخص تورم واریانس برای متغیرها در بازه ۱/۷۳ تا ۲/۹۳ قرار داشت که با توجه به آستانه عدد سه برای این شاخص به منظور حذف متغیرها [۴۲]، در مجموع، تعداد هشت متغیر مدل رقومی ارتفاع، شیب، تابش خورشیدی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، بازه دمای سالانه، بارندگی سالانه، بارندگی مرطوب‌ترین ماه و بارندگی مرطوب‌ترین چهارک برای مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاهی گونه گل‌گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه استفاده شدند.

با توجه به نیاز مدل‌های ذکر شده به داده‌های زمینه‌ای (شبه‌عدم حضور^۷)، تعداد ۵۰۰۰ نقطه شبه عدم حضور در منطقه مورد مطالعه و بیرون از شعاع یک کیلومتری نقاط حضور در نظر گرفته شد. سطح زیر منحنی (AUC^۸) ویژگی عامل دریافت‌کننده (ROC^۹) و مدل آماره مهارت واقعی (TSS^{۱۰}) برای ارزیابی اعتبار و کیفیت هر یک از مدل‌ها، استفاده شد. به این ترتیب، که مقادیر $>0/9$ برای AUC و مقادیر $>0/75$ برای TSS نشان‌دهنده صحت عالی مدل هستند [۱۲، ۳۳]. میزان مشارکت هر یک از متغیرها در هر یک از مدل‌ها و همچنین، منحنی‌های پاسخ نقاط

تعرق از سطح گیاهان اثرگذار است [۴]. بنابراین، متغیر تابش خورشیدی بر حسب کیلوژول در مترمربع در روز ($\text{kJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$) که بر اساس ماه‌های سال تفکیک شده است (میانگین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ میلادی) [۱۳]، به عنوان متغیر دیگر وابسته به پستی و بلندی به کار برده شد. در این مطالعه، تابش خورشیدی ماه‌های اسفند تا اردیبهشت (مارس تا می میلادی) در ابزار Raster Calculator میانگین گرفته شد. علت انتخاب این سه ماه این بود که این قسمت از سال برای رشد و گلدهی گل‌گندم بهبهانی حائز اهمیت است. با توجه به وابستگی گیاه گل‌گندم به مزارع گندم، طبقه پوشش زمین‌های کشاورزی که عمده آن مزارع گندم است از نقشه پوشش سرزمین موجود [۱۵] برداشت شده و نقشه فاصله از زمین‌های کشاورزی با استفاده از ابزار Euclidean Distance تهیه گردید. تمام ابزارهای ذکر شده در محیط ArcGIS نسخه ۱۰/۳ موجود است.

متغیرهای اقلیمی موجود در درگاه www.worldclim.org از میانگین ماهانه دما، حداکثر و حداقل دما و بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی جهانی، منطقه‌ای، ملی و محلی در طول سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ میلادی گردآوری و درون‌یابی شده‌اند [۱۳، ۱۷]. از میان ۱۹ متغیر اقلیمی موجود در این درگاه، متغیرهای اقلیمی میانگین دمای سالانه (BIO1^۱)، بازه دمای سالانه (BIO7^۲)، بارندگی سالانه (BIO12^۳)، بارندگی مرطوب‌ترین ماه (BIO13^۴) و بارندگی مرطوب‌ترین چهارک (سه ماه) (BIO16^۵) انتخاب گردیدند. این متغیرها به دلیل اینکه بیشترین تأثیر را بر فیزیولوژی گونه گل‌گندم بهبهانی

¹ Annual mean temperature

² Temperature annual range

³ Annual precipitation

⁴ Precipitation of wettest month

⁵ Precipitation of wettest quarter

⁶ Variance Inflation Factor (VIF)

⁷ Pseudo-absence points

⁸ Area under the Curve

⁹ Receiver Operating Characteristic

¹⁰ True Skill Statistic

کمتر، تراکم جریان حرکت بیشتری از گل گندم بهبهانی را نشان می‌دهند و بالعکس.

۳. نتایج

۱،۳. مدلسازی مطلوبیت رویشگاه

مقدار AUC و TSS برای مدل‌ها به ترتیب $0.9 >$ و $0.75 >$ تعیین شد که نشان‌دهنده صحت عالی برای هر یک از مدل‌ها است (جدول ۱). نتایج میانگین مشارکت هر یک از متغیرها در شش مدل تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه‌ای نشان داد که متغیر مدل رقومی ارتفاع دارای بیشترین اهمیت در مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه است. بعد از آن به ترتیب، متغیرهای بارندگی سالانه، فاصله از زمین‌های کشاورزی و بارندگی مرطوبترین ماه دارای بیشترین اهمیت بوده و متغیر شیب دارای کمترین اهمیت بوده است (جدول ۲).
منحنی‌های پاسخ حضور گل گندم بهبهانی به متغیرهای محیط زیستی نشان داد که گل گندم بهبهانی ارتفاع‌های زیر ۱۰۰۰ متر، شیب‌های زیر ۱۰ درجه و تابش خورشیدی ۲۱۵۰۰-۲۱۰۰۰ کیلوژول در متر مربع در روز را ترجیح می‌دهد. با افزایش فاصله از زمین‌های کشاورزی، احتمال حضور گل گندم بهبهانی کاهش می‌یابد. در نهایت، گل گندم بهبهانی بارندگی سالانه ۳۵۰-۴۵۰ میلی‌متر، بارندگی مرطوب‌ترین ماه بیشتر از ۶۰ میلی‌متر و بارندگی بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر را در مرطوب‌ترین چارک سال ترجیح می‌دهد (شکل ۲).

حضور گل گندم بهبهانی به هر یک از متغیرهای محیط زیستی در هر یک از مدل‌ها تعیین شدند. در نهایت، نقشه تجمعی مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی از میانگین وزنی شش مدل ذکر شده تعیین شد.

۴،۲. طراحی ارتباط‌های رویشگاهی

طراحی ارتباط‌های رویشگاهی به روش مدارهای الکتریکی به منظور نمایش تراکم شدت جریان بالقوه میان نقاط حضور گیاه گل گندم بهبهانی در نرم‌افزار Circuitscape نسخه ۴ [۲۴] انجام شد. مطابق روش [۴۰]، نقشه تجمعی مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی بر اساس روش خطی منفی به نقشه مقاومت تبدیل شد (۱+ نقشه تجمعی مطلوبیت رویشگاه -۱۰۰۰) و سپس با تابع تبدیل نمایی (ابزار Rescale by Function در Spatial Analyst Tools) به بازه یک تا ۱۰۰ تبدیل شد. نقشه تهیه شده به عنوان نقشه مقاومت جریان حرکت و نقاط حضور گل گندم بهبهانی به عنوان گره کانونی به نرم‌افزار معرفی شدند. در این نرم‌افزار از روش همه برای یکی^۱ برای طراحی ارتباط‌های رویشگاهی استفاده شد [۳۱]. زیرا هنگامی که، هدف به دست آوردن یک نقشه با تمامی ارتباط‌ها میان گره‌های کانونی است این روش می‌تواند مفید واقع شود [۲۳]. دلیل دیگر استفاده از این روش، نیاز زیاد به RAM رایانه در نرم‌افزار Circuitscape است که یک محدودیت برای این نرم‌افزار تلقی می‌گردد [۳۱]. روش به کار برده شده به RAM کمتری از رایانه نیاز دارد. همچنین، هشت سلول اطراف هر یک از سلول‌ها، برای هدایت جریان در نظر گرفته شد [۲۳]. مناطق با مقاومت

جدول ۱. مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) و مدل آماره مهارت واقعی (TSS) برای هر یک از مدل‌های استفاده شده

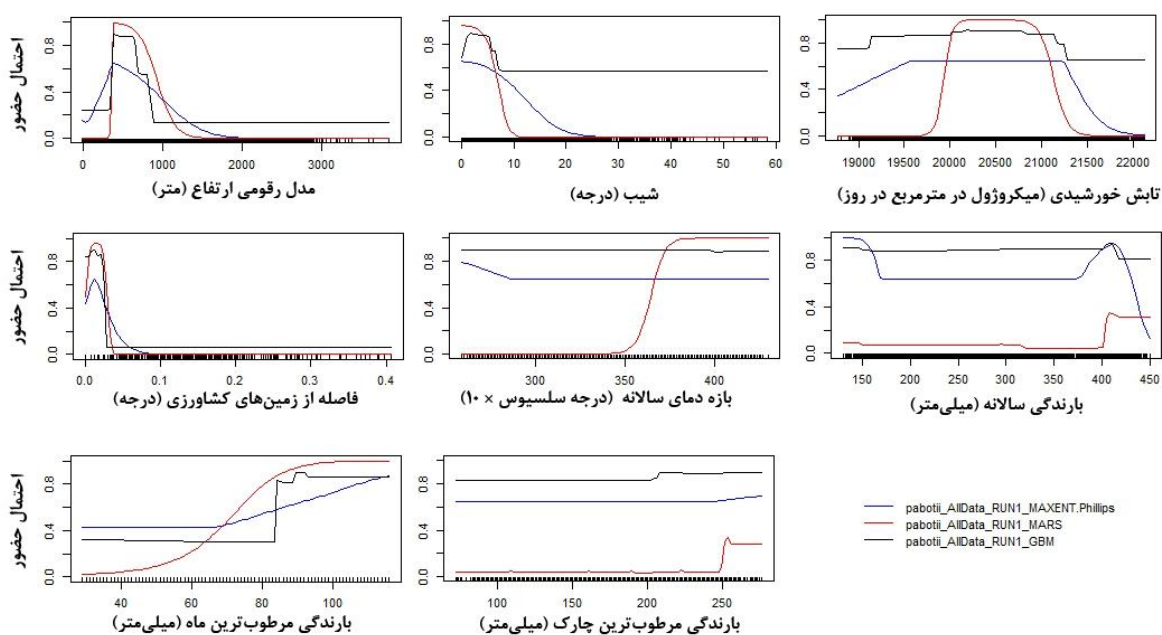
در مدلسازی مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه

GBM	RF	MaxEnt	MARS	GAM	GLM	
۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۹۹	AUC
۰/۷۷	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۹۸	TSS

^۱ All to one

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار مشارکت نسبی هر یک از متغیرهای محیط زیستی در شش مدل مورد استفاده در مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه

مدل رقومی ارتفاع	شیب	تابش خورشیدی	فاصله از زمین‌های کشاورزی	بازه دمای سالانه	بارندگی سالانه	بارندگی مرطوب‌ترین ماه	بارندگی مرطوب‌ترین چارک	میانگین مشارکت نسبی (%)
۲۱/۸۳	۴/۶۴	۱۱/۵۶	۱۳/۸۵	۹/۰۹	۱۸/۲۷	۱۲/۶	۸/۱۶	میانگین مشارکت نسبی (%)
۳/۶۴	۱/۹	۲/۲۸	۳/۰۸	۲/۸	۳/۷۳	۲/۸۶	۱/۴۴	انحراف معیار مشارکت نسبی (%)



شکل ۲. منحنی‌های پاسخ حضور گل گندم بهبهانی به هر یک از متغیرهای محیط زیستی در هر یک از مدل‌های مطلوبیت رویشگاه گونه (به منظور سهولت نمایش، فقط سه مدل MaxEnt با خط آبی نگ، MARS با خط قرمز و GBM با خط سیاه نمایش داده شده است).

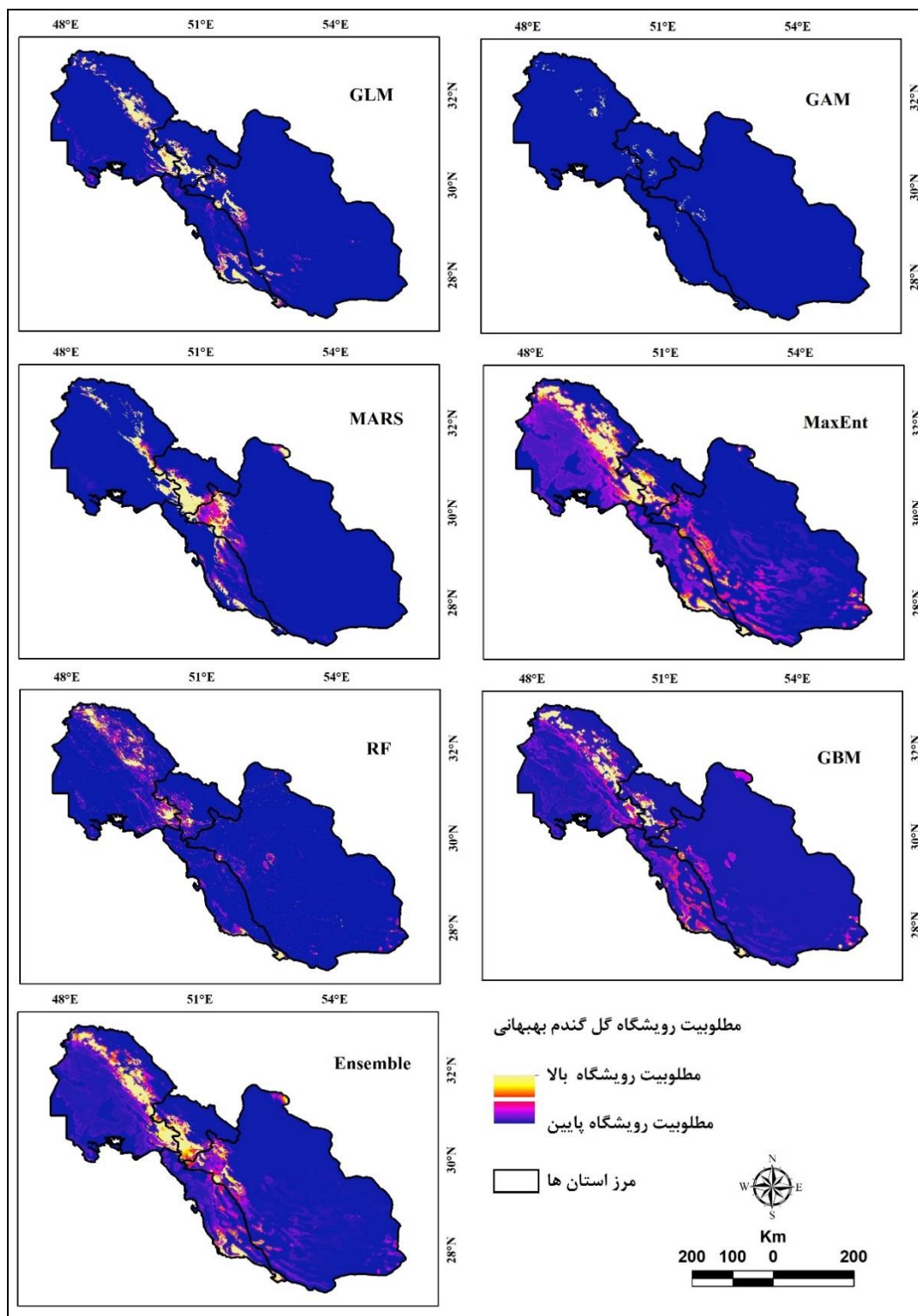
۲.۳. طراحی ارتباط‌های رویشگاهی

طراحی ارتباط‌های رویشگاهی گونه گل گندم بهبهانی به روش مدارهای الکتریکی نشان داد که بیشترین تراکم جریان حرکت در استان خوزستان وجود دارد (شکل ۴). تراکم جریان حرکت گل گندم بهبهانی از شمال استان خوزستان شروع شده و با جریان حرکت به نسبت مطلوبی به شرق این استان می‌رسد. در شرق استان خوزستان تراکم جریان حرکت مطلوبی به سمت جنوب شرق این استان وجود دارد که در ادامه، به سمت استان کهگیلویه و

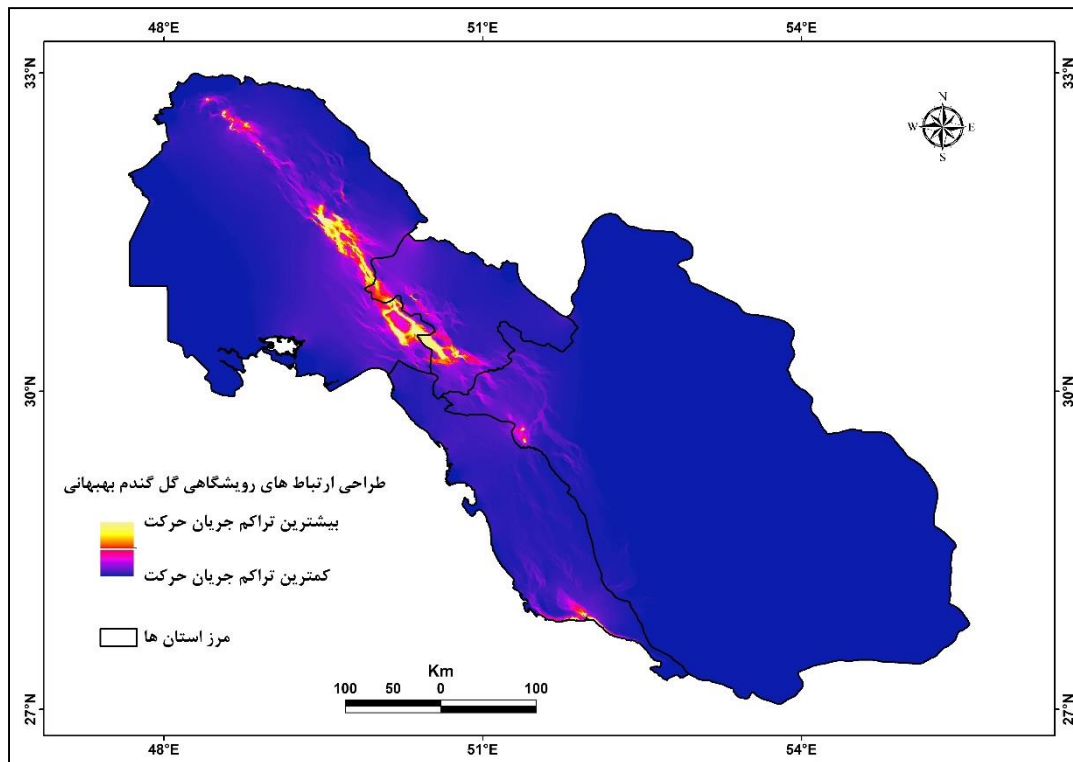
شکل (۳) نقشه مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه را در هر یک از مدل‌های GLM، GAM، MARS، MaxEnt، RF، GBM و نقشه تجمعی حاصل از میانگین وزنی این مدل‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود عمده مناطق مطلوب رویشگاهی گل گندم بهبهانی در شمال، شرق و جنوب شرق استان خوزستان واقع است. در سایر استان‌ها نیز مناطق به نسبت مطلوب رویشگاهی گونه گل گندم بهبهانی در جنوب استان‌های بوشهر و فارس و در غرب و جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد واقع شده‌اند (شکل ۳).

منزوی تشخیص داده شدند (شکل ۴).

بویر احمد نیز کشیده شده است. تراکم جریان حرکت در استان‌های بوشهر و فارس ضعیف بوده و این مناطق،



شکل ۳. نقشه‌های مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه بر اساس شش مدل مطلوبیت رویشگاه و نقشه تجمعی حاصل از میانگین وزنی ارزش‌های این شش مدل.



شکل ۴. نقشه ارتباط‌های رویشگاهی طراحی شده گونه گل گندم بهبهانی در محدوده پراکنش آن در جنوب غربی ایران بر اساس روش مدارهای الکتریکی

۴. بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف تعیین مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی و طراحی ارتباط‌های رویشگاهی آن در جنوب غرب کشور انجام شد. متغیرهای مدل رقومی ارتفاع، بارندگی سالانه، فاصله از زمین‌های کشاورزی و بارندگی مرطوبترین ماه، بیشترین اهمیت را در مطلوبیت رویشگاه گل گندم بهبهانی در منطقه مورد مطالعه داشتند. طراحی ارتباط‌های رویشگاهی این گونه، بیشترین تراکم جریان حرکت گل گندم بهبهانی را در شرق و جنوب شرق استان خوزستان و غرب و جنوب استان کهگیلویه و بویر احمد نشان داد.

علاوه بر متغیرهای استفاده شده در مدلسازی مطلوبیت زیستگاه گل گندم بهبهانی، متغیر خاک و پارامترهای مربوط به آن نیز در این مطالعه مد نظر بوده اما در سطح منطقه مورد مطالعه، داده‌برداری پارامترهای

خاک امکان‌پذیر نبود. همچنین، فایل‌های چنین متغیرهایی در دسترس نبودند و یا در صورت وجود با کاستی‌ها و عدم داده در بعضی مناطق مواجه بودند که عملاً استفاده از آن‌ها را غیرممکن می‌سازد. متغیر شیب با تأثیر بر رطوبت و فرسایش خاک [۱۸] و متغیر تابش خورشیدی با تأثیر بر حرارت خاک و تبخیر از سطح خاک [۱۶] در این مطالعه به کار برده شدند تا کمبود وجود متغیر خاک و پارامترهای آن به حداقل ممکن برسد. در مطالعه‌های پیشین نیز که در سطح وسیع و بدون داده‌برداری پارامترهای خاک انجام شده است صرفاً از متغیرهای اقلیمی و پستی و بلندی در مدلسازی پراکنش رویشگاهی گونه‌های مرتعی استفاده شده است [۴۱، ۳۵، ۶، ۳].

مدلسازی مطلوبیت رویشگاه نشان داد که بیشترین مناطق با مطلوبیت بالای رویشگاهی گل گندم بهبهانی در

سطح وسیع نشان داده‌اند [۳۵، ۳۴]. متغیر فاصله از زمین‌های کشاورزی به دلیل مشاهده گونه گل گندم بهبهانی در مزارع گندم استفاده شد که با مشخص شدن این متغیر به عنوان متغیر سوم با میزان بالای مشارکت، انتخاب این متغیر منطقی و درست به نظر می‌رسد. در مطالعه [۳۹] نیز زمین‌های کشاورزی برای پنج گونه مرتعی مهاجم در سطح جهان، مطلوب تشخیص داده شد. منحنی‌های پاسخ، افزایش احتمال حضور گل گندم بهبهانی در اطراف مزارع کشاورزی در منطقه مورد مطالعه را تأیید کردند.

ارتباط‌های رویشگاهی در یک منطقه می‌تواند به انتشار و پراکنش گونه‌ها کمک نماید. در نتیجه، مناطق با تراکم جریان حرکت بالای افراد یک گونه، مانع لکه‌ای شدن رویشگاه آن گونه و موجب سهولت جریان ژن می‌شود [۲۲]. این موضوع می‌تواند مدیران بخش کشاورزی را در مورد گونه‌های مهاجم مزارع کشاورزی، دچار مشکل نماید [۱]. ارتباط رویشگاهی بالا در استان خوزستان نشان‌دهنده توان بالای این گونه برای انتشار در این استان نسبت به استان‌های مجاور است که عمده تراکم جریان حرکت این گونه، شرق و جنوب شرق استان خوزستان است. بنابراین، مزارع گندم استان خوزستان بیشتر در خطر هجوم گونه گل گندم بهبهانی قرار دارند و مدیران جهاد کشاورزی این استان باید تمهیدات لازم را مورد مواجهه با این گونه مهاجم مزارع گندم اتخاذ نمایند. مناطق با تراکم جریان بالای استان خوزستان با استان کهگیلویه و بویر احمد نیز در ارتباط هستند و با توجه به افزایش محدوده پراکنش این گونه در آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیمی [۲]، این گونه مرتعی توانایی انتشار به استان کهگیلویه و بویر احمد را نیز دارد. در نهایت، با توجه به منزوی بودن مناطق حضور گل گندم بهبهانی در استان‌های بو شهر و فارس، احتمال افزایش انتشار آن به دیگر مزارع گندم این دو استان ضعیف به نظر می‌رسد.

استان خوزستان قرار داشتند که با اطلاعات پیشین آن در مورد پراکنش این گونه مطابقت داشت [۲۸]. مناطق به نسبت مطلوب رویشگاهی این گونه در استان‌های بو شهر، فارس و کهگیلویه و بویر احمد نیز وجود داشتند. مدلسازی مطلوبیت رویشگاه در این استان‌ها، علاوه بر مناطق نقاط حضور، برخی مناطق دیگر را نیز به نسبت مطلوب تشخیص داده است که پیمایش صحرائی به منظور بررسی این مناطق می‌تواند صورت گیرد.

نتایج میزان مشارکت متغیرهای محیط زیستی نشان داد که مدل رقومی ارتفاع بیشترین میزان مشارکت را در مدلسازی مطلوبیت رویشگاه گونه گل گندم بهبهانی داشته است که این امر نشان می‌دهد ارتفاع عاملی محدود کننده برای این گونه محسوب می‌شود. در مطالعه‌های جداگانه نیز [۳] و [۶] ارتفاع را مهمترین عامل در مدلسازی پراکنش رویشگاهی به ترتیب گونه‌های *Bromus tomentellus* و *Astragalus cyclophyllon* در استان اصفهان نشان دادند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، مناطق ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر به عنوان مناطق مستعد حضور گونه گل گندم بهبهانی در منحنی‌های پاسخ پیش‌بینی شده‌اند که در مطالعه پیشین نیز این گونه به عنوان یک گونه زاگرسی در محدوده ارتفاعی ۳۰۰-۴۵۰ متر معرفی شده بود [۲۸]. متغیرهای بارندگی سالانه و بارندگی مرطوب‌ترین ماه به ترتیب به عنوان متغیرهای مهم دوم و چهارم در مدلسازی مطلوبیت رویشگاه گونه گل گندم بهبهانی شناخته شده‌اند که اهمیت و حیاتی بودن بارندگی را در طول سال و به ویژه در مرطوب‌ترین ماه که فصل رشد این گونه محسوب می‌شود نشان می‌دهند. در مطالعه [۳]، بارندگی مرطوب‌ترین ماه به عنوان دومین متغیر مهم در مدلسازی پراکنش رویشگاهی *Astragalus caragana* در مرکز ایران تشخیص داده شد. مطالعه‌های دیگر نیز اهمیت بارندگی را در پراکنش رویشگاهی گونه‌های گیاهی در

References

- [1] Alignier, A., Ricci, B., Biju-Duval, L. and Petit, S. (2013). Identifying the relevant spatial and temporal scales in plant species occurrence models: The case of arable weeds in landscape mosaic of crops. *Ecological Complexity*, 15, 17-25.
- [2] Almasieh, K., Zoratipour, A., Negaresh, K. and Delfan-Hasanzadeh K. (2018). Habitat quality modelling and effect of climate change on the distribution of *Centaurea pabotii* in Iran. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16 (3), e0304.
- [3] Ardestani, E.G., Tarkesh, M. Bassiri, M. and Vahabi, M.R. (2015). Potential habitat modeling for reintroduction of three native plant species in central Iran. *Journal of Arid Land*, 7(3), 381–390.
- [4] Austin M.P. (2002) Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling, *Ecological Modelling*, 157, 101–118.
- [5] Barik, S.K. and Adhikari, D. (2011). Predicting geographic distribution of an invasive species *Chromolaena odorata* L. (King) & H.E. Robins. In: Bhatt, J.R., Singh, J.S., Tripathi, R.S., Singh, S.P. and Kohli, R.K. (Eds.), *Invasive Alien Plants – An Ecological Appraisal for the Indian Sub-continent*. CABI, Oxfordshire, pp. 77–88.
- [6] Bazrmanesh, A., Tarkesh, M., Bashari, H. and Poormanafi, S. (2019). Effect of climate change on the Ecological Niches of the climate Of *Bromus tomentellus* Boiss using Maxent in Isfahan province. *Journal of Range and Watershed Management*, 71(4): 857-867. (In Persian)
- [7] Beier, P., Majka, D. and Jenness, J. (2007). Conceptual steps for designing wildlife corridors. www.corridor-design.org, accessed on 20 June 2013.
- [8] Bohan, D.A., Powers, S.J., Champion, G., Haughton, A.J., Hawes, C., Squire, G., Cussans, J. and Mertens, S.K. (2011). Modelling rotations: can crop sequences explain arable weed seedbank abundance. *Weed Research*, 51, 422–432.
- [9] Bradley, B.A. (2014). The biogeography of invasive plants – projecting range shifts with climate change, In: Ziska, L.H. and Dukes, J.S. *Invasive species and Global climate change*. Wallingford, UK: CABI, 368 pp.
- [10] Brown J.L. (2014). SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic, and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7), 694–700.
- [11] Crooks, K.R. and Sanjayan, M. (2006). *Connectivity conservation*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 730 p.
- [12] Eskildsen, A., Roux, P.C., Heikkinen, R.K., Høye, T.T., Kissling, W.D., Pöyry, J., Wisz, M.S. and Luoto, M. (2013). Testing species distribution models across space and time: high latitude butterflies and recent warming. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 1293–1303.
- [13] Fick, S.E. and Hijmans, R.J. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.
- [14] Fried, G., Petit, S. and Reboud, X. (2010). A specialist-generalist classification of the arable flora and its response to changes in agricultural practices. *BMC Ecology*, 10, 1–20.
- [15] FRWMO (Forest, Range and Watershed Management Organization of Iran). (2010). *Iranian Forests, Range and Watershed Management Organization National Land use/Land cover map*.
- [16] Guisan, A. and Zimmermann, N.E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147–186.
- [17] Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
- [18] Hoersch, B., Braun, G. and Schmidt, U. (2002) Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26, 113–139.
- [19] Hu, X.G., Jin, Y., Wang, X.R., Mao, J.F. and Li, Y. (2015). Predicting impacts of future climate change on the distribution of the widespread conifer *Platyclusus orientalis*. *PLoS ONE* 10(7), e0132326.

- [20] IRIMO (Islamic Republic of Iran Meteorological Organization). (2010). Climate data-base, Iranian cities, from 1950 to 2010. <http://www.weather.ir/English/>, accessed on 20 August 2015.
- [21] McRae, B. H. (2006). Isolation by resistance. *Evolution*, 60, 1551–1561.
- [22] McRae, B. H. and Beier, P. (2007). Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104, 19885–19890.
- [23] McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H. and Shah, V. B. (2008). Using Circuit theory to model connectivity in ecology, evolution and conservation. *Ecology*, 89 (10), 2712–2724.
- [24] McRae, B. H. and Shah, V. B. (2009). Circuitscape user's guide. The University of California, Santa Barbara, www.circuitscape.org, accessed on 20 April 2016.
- [25] McRae, B., Shah, V. and Edelman, A. (2016). Circuitscape: modeling landscape connectivity to promote conservation and human health. DOI: 10.13140/RG.2.1.4265.1126.
- [26] Naimi, B., Hamm, N.A.S., Groen, T.A., Skidmore, A.K. and Toxopeus, A.G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography* 37(2), 191–203.
- [27] Negaresh, K. and Rahiminejad, M.R. (2015a). The identity and revised circumscription of *Centaurea iranshahrii* (Asteraceae, Cardueae–Centaureinae) in Iran. *Feddes Repertorium*, 126(3–4), 55–66.
- [28] Negaresh, K. and Rahiminejad, M.R. (2015b). A taxonomic revision of *Centaurea* sect. *Microlophus* (Asteraceae, Cardueae–Centaureinae) and three new records for the flora of Iran. *Nordic Journal of Botany*, 33, 335–353.
- [29] Negaresh, K. and Rahiminejad, M.R. (2016). *Centaurea rahiminejadii* sp. nov. and a new record in the genus *Centaurea* (Asteraceae, Cardueae–Centaureinae) from Iran. *Nordic Journal of Botany*, 34, 15–22.
- [30] R Development Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- [31] Roever, C.L., van Aarde, R.J. and Leggett, K. (2013). Functional connectivity within conservation networks: Delineating corridors for African elephants. *Biological Conservation*, 157, 128–135.
- [32] Scott, J.K., Murphy, H., Kriticos, D.J., Webber, B.L., Ota, N. and Loechel, B. (2014). Weeds and climate change: supporting weed management adaptation. CSIRO, Australia.
- [33] Swets, J.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293.
- [34] Swaine, M., 1996. Rainfall and soil fertility as factors limiting forest species distributions in Ghana. *Journal of Ecology*, 84: 419–428.
- [35] Tarnian, F., Azarnivand, H., Yazdanparast, R., Zare Chahouki, M.A., Jafari, M. and Kumar, S. (2017). Identifying potential habitats and influencing variables on *Daphne mucronata* Royle distribution. *Journal of Rangeland*, 11(2): 179–192. (In Persian)
- [36] Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. and Araújo, M.B. (2009). BIOMOD-A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32, 369–373.
- [37] Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A. and Schick, R.S. (2009). Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters*, 12, 260–273.
- [38] Wagenitz, G. (1980). *Centaurea* L. In: Rechinger, K.H. (ed) *Flora Iranica*, 139b, 313–420, Akademische Druck-und Verlagsanstalt, Graz.
- [39] Wang, C.J and Wan, J.Z. (2020). Assessing the habitat suitability of 10 serious weed species in global croplands. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01142.
- [40] Wilkinson, J.W. and Starnes, T. (2016). Ten years of Jersey Toadwatch: Analysis & recommendations. ARC Research Report 16/01.
- [41] Yang, X.Q., Kushwaha, S.P.S., Saran, S., Xu, J. and Roy, P.S. (2013). Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51, 83–87.
- [42] Zuur, A.F., Ieno, E.N. and Elphick, C.S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 3–14.