



اثرات تغییر اقلیم بر نواحی در معرض تهاجم

علف هرز کشیده برگ مهاجم جودره (*Hordeum spontaneum* K.Koch) در ایران و جهان

سیدکریم موسوی¹، علی قنبری^{2*}، رضا قربانی³ و محمدعلی باغستانی⁴

تاریخ دریافت: 1395/04/04

تاریخ پذیرش: 1395/11/02

موسوی، س.ک.، قنبری، ا.، قربانی، ر. و باغستانی، م.ع. 1396. اثرات تغییر اقلیم بر نواحی در معرض تهاجم علف هرز کشیده برگ مهاجم جودره (*Hordeum spontaneum* K.Koch) در ایران و جهان. بوم‌شناسی کشاورزی، 9(1): 245-261.

چکیده

در این تحقیق با استفاده از شاخص شدت حضور علف‌های هرز، مناطق اصلی آلوده به علف هرز جودره (*Hordeum spontaneum* K.Koch) در استان لرستان شامل شهرستان‌های خرم‌آباد (مناطق ایمان‌آباد و ریمله)، دورود، کوهدشت و الشتر سلسله به عنوان اقلیم مطلوب برای حضور این گونه علف هرز انتخاب شدند و با استفاده از برنامه کلیمکس¹ تشابه اقلیمی مناطق مختلف جهان با ناحیه مورد نظر به عنوان معیاری از قابلیت تهاجم پذیری آن مناطق در شرایط موجود و تحت سناریوهای تغییر اقلیم ارزیابی شد. تجزیه خوشه‌ای نشان داد استان‌های کرمانشاه، البرز، همدان، کردستان، مرکزی، قزوین و چهارمحال و بختیاری با شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/81 مستعدترین اقلیم را برای استقرار علف هرز جودره در شرایط دیم داشتند. در صورت تغییر اقلیم، شرایط آب و هوایی استان‌های زنجان، همدان، اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی برای استقرار این علف هرز در مقایسه با اقلیم جاری مساعدتر و شرایط سایر استان‌ها نامساعدتر می‌شود. در شرایط تغییر اقلیم، شرایط آب و هوایی استان لرستان به میزان 8/5 درصد برای استقرار علف هرز جودره نامساعد خواهد شد. اسلام‌آباد غرب، بروجرد، ایوان، تویسرکان، کنگاور، جوانرود، کرمانشاه، کامیاران، اردل، سیلاخور، سرارود، سنج، شمیران تهران، روانسر، رومشکان، نهاوند، ایلام، فارس، تازه آباد، نورآباد دلفان، مهاباد، ازنا، سنقر، هرسین، سیسخت، خرم‌آباد، سپیدان، زرقان، معلم کلاهی، سرابله، بوکان، قزوین، شاهین دز، بانه، بیله‌سوار، شازند، تخت جمشید، اراک، خمین، هشتگرد، سنقر، اشنویه، سامان، خنداب، شیراز، شهرکرد و ملایر با داشتن شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/9 آسیب‌پذیرترین شهرها در برابر تهاجم علف هرز جودره بودند. در شرایط موجود، کشورهای اسپانیا، ایالات متحده آمریکا، الجزایر، یونان، سوریه، ترکیه، ایتالیا، استرالیا، ازبکستان، تونس، پاکستان، عراق، مراکش، شیلی، افغانستان، بلغارستان، مقدونیه، برتغال، آرژانتین، ترکمنستان، لیبی، رومانی، اردن، آفریقای جنوبی، فرانسه، ارمنستان، اکراین، فلسطین اشغالی و چین حداقل یک منطقه با مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/8 با ناحیه آلوده به علف هرز جودره در استان لرستان داشتند. بر اساس سناریوی تغییر اقلیم انگلستان برای سال 2080 میلادی، شرایط اقلیمی کشورهای کره شمالی، سوئیس، کره جنوبی، مجارستان، اتریش، بوسنی و هرزگوین، مغولستان، لوکزامبورگ، جمهوری چک، آلمان، کانادا، لهستان، رومانی، یوگسلاوی، جورجیای جنوبی، بلژیک، روسیه، بلغارستان، هلند، اوکراین، سوئد، قزاقستان، فنلاند، بلاروس، انگلستان، نروژ، فرانسه، دانمارک و ایرلند برای تهاجم علف هرز جودره در مقایسه با شرایط آب‌وهوایی موجود به میزان 10-30 درصد افزایش می‌یابد. براساس این تحقیق در شرایط اقلیمی موجود و در صورت تغییر اقلیم قاره اروپا بهترین اقلیم برای تهاجم علف هرز جودره و قاره آمریکای جنوبی در شرایط جاری و قاره آفریقا در صورت تغییر اقلیم نامساعدترین قاره برای تهاجم این علف هرز بودند.

واژه‌های کلیدی: پراکنش علف هرز، شاخص مشابهت اقلیمی، شدت حضور، لرستان، مدل اقلیمی کلیمکس

مقدمه

می‌شوند، زیرا اغلب به طور چشمگیری ساختار و کارکرد اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Binggeli, 1996). مدیریت آینده‌نگرانه گونه‌های مهاجم نیازمند آگاهی در مورد توانایی پراکنش بالقوه و فراوانی نسبی گونه‌های مهاجم در شرایط جاری و تحت سناریوهای تغییر اقلیم است. این قبیل اطلاعات برای ارزیابی ریسک و اتخاذ راهبردهای مدیریتی بلندمدت مناسب ضروری است (Taylor et al., 2012). پراکنش یک گونه به برهم‌کنش‌های پیچیده بین گستره‌ای از عوامل با شدت‌های مختلف در مقیاس‌های متفاوت وابسته است

گونه‌های مهاجم، تهدید جدی برای تنوع زیستی کره زمین قلمداد

1، 2، 3 و 4- به ترتیب دانشجوی دکتری علف‌های هرز، دانشیار، استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و استاد مؤسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
(*) - نویسنده مسئول:
(Email: ghambari@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v9i1.57012
5- Climex

(Pearson & Dawson, 2003).

مشابهت اقلیمی¹ روش رایجی برای پیش‌بینی رفتار گونه‌های مهاجم است (Peterson, 2003; Zimmermann et al., 2010). این رهیافت بر این نگرش استوار است که جایگاه اکولوژیک به صورت عامل کنترلی برای پتانسیل پراکنش گونه‌ها عمل می‌کند (Grinnell, 1924). با بسط منطقی مفهوم جایگاه اکولوژیک می‌توان بیان نمود که گونه‌ها فقط در نواحی قادر به استقرار جمعیت هستند که مجموعه شرایط اکولوژیکی آن با شرایط نواحی پراکنش بومی انطباق داشته باشد. بنابراین، بر اساس شرایط محیطی مکان‌های شناخته شده حضور گونه‌ها در مناطق بومی می‌توان قابلیت استقرار جمعیت‌های غیربومی آن‌ها را در سایر نواحی پیش‌بینی نمود (Peterson, 2003) و علاوه بر این، به تخمین پراکنش بالقوه تحت سناریوهای تغییر اقلیم مبادرت ورزید (Beaumont et al., 2005). رهیافت مشابهت اقلیمی منجر به توسعه مدل‌های پیش‌بینی برای مدیریت گونه‌های مهاجم شده است (Ervin & Holly, 2011). مدل‌های زیست‌اقلیم جایگاه اکولوژیک² و مدل‌های پراکنش گونه‌ای³ که مشاهدات جغرافیایی گونه‌ها را به کوواریانس‌های محیطی مرتبط می‌سازند به ابزار مدل‌سازی مهمی برای پاسخگویی به پرسش‌های پژوهشی در حوزه‌های جغرافیای زیستی، بیولوژی حفاظتی، اکولوژی تهاجم و تکامل تبدیل شده است (Guisan & Thuiller, 2005; Guisan & Zimmermann, 2000; Kriticos & Randall, 2001; Sutherst, 2003). کلیمکس از جمله نرم‌افزارهایی است که در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های مهاجم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kriticos et al., 2011). کلیمکس در مقایسه با سایر مدل‌ها برنامه مناسب‌تری برای ارزیابی ریسک پراکنش علف‌های هرز مهاجم برشمرده شده است (Kriticos & Randall, 2001; Taylor & Kumar, 2013).

برنامه کلیمکس به وسیله محققان بخش حشره‌شناسی سازمان تحقیقات علمی و صنعتی مشترک‌المنافع استرالیا⁴ در سال 1985 معرفی شد. این برنامه در ابتدا برای پیش‌بینی مناطق مستعد استقرار گونه‌های آفت جدید وارداتی طراحی شد. پیش‌بینی ریسک استقرار آفت جدید برای جلوگیری از استقرار گونه‌های مهاجم بسیار حیاتی است. امروزه برنامه کلیمکس به طور وسیعی در دنیا در بیش از 30

کشور برای برآورد دامنه تهاجم انواع گونه‌ها از حشرات، علف‌های هرز و عوامل بیماری‌زای گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sutherst et al., 2007). در بررسی بسته‌های مختلف اقلیمی طراحی شده برای برآورد توانایی پراکنش گونه‌ها، معلوم شده است که کلیمکس مناسب‌ترین بسته مدل‌سازی اقلیمی برای ارزیابی ریسک پراکنش علف‌های هرز است (Kriticos & Randall, 2001; Webber et al., 2011).

در برنامه کلیمکس با استفاده از قابلیت اقلیم‌های مشابه⁵ امکان مقایسه داده‌های آب و هوایی مناطق مختلف بدون ارجاع به گونه خاصی فراهم است. در این برنامه با انتخاب یک محل، جستجو برای یافتن مکان‌های دیگر با اقلیم مشابه آن صورت می‌گیرد. مقایسه اقلیم مناطق مختلف برای گونه‌های مورد نظر این کاربرد را دارد که اگر بدانیم یک گونه خاص در چه اقلیم معینی حضور دارد، آن‌گاه با استفاده از آنالیز مشابهت اقلیمی می‌توان مشخص نمود که اقلیم سایر مناطق از چه درجه تشابهی با محل حضور گونه مورد نظر برخوردار است. آنالیز مشابهت اقلیمی می‌تواند در ارزیابی ریسک استقرار یک آفت در ناحیه جدید (یک استان، کشور یا قاره) به منظور تمهید مقررات قرنطینه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. آنالیز مشابهت اقلیمی می‌تواند بدون داشتن هیچ نوع اطلاعاتی درباره گونه آفت مورد نظر و صرفاً با آگاهی از محل رخداد آن به کار گرفته شود. بنابراین، در صورتی که اطلاعات بیولوژیکی کافی و نقشه پراکنش آفت در دسترس نباشد می‌توان با استفاده از آنالیز مشابهت اقلیمی به ارزیابی ریسک استقرار آفت پرداخت. در نرم‌افزار کلیمکس می‌توان با انتخاب یک مکان یا ناحیه‌ای متشکل از چند مکان به مقایسه اقلیم مناطق دیگر با مکان یا ناحیه انتخابی پرداخت (Sutherst et al., 2007).

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها صرفاً به اتکای داده‌های اقلیمی، با انتقاداتی روبه‌روست، زیرا در این مدل‌ها فرض بر این است که توزیع جغرافیایی گونه‌ها صرفاً متأثر از اقلیم است و از برهم‌کنش‌های زیستی و پراکنش استفاده نمی‌شود (Davis et al., 1998). البته به رغم این قبیل محدودیت‌ها، مدل‌های اقلیمی در تبیین نیچ بنیادین بالقوه گونه‌های مهاجم در گستره خارجی خود کارآمد هستند (Follak & Strauss, 2010). از آنجایی که اقلیم از جمله مهمترین عوامل محدودکننده گستره پراکنش بالقوه گونه‌هاست، بنابراین تغییرات

- 1- Climate matching
- 2- Bioclimatic niche models
- 3- Species distribution
- 4- CSIRO

راهبردهای مدیریتی درازمدت ضروری است (Taylor & Kumar, 2013).

بهره‌گیری از شاخص مشابهت اقلیمی مدل کلیمکس برای پیش‌بینی قابلیت تهاجم علف‌هرز کشیده‌برگ جودره (*Hordeum spontaneum* K.Koch) در ایران و جهان در شرایط اقلیمی موجود و تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم از جمله اهداف این پژوهش بود. شناسایی نواحی اقلیمی مناسب برای گونه‌های مهاجم فرصت مغتنمی برای جلوگیری یا کند کردن تهاجم فراهم می‌آورد. هدف این پژوهش شناسایی مناطق در معرض تهاجم علف‌هرز جودره در شرایط فعلی و تغییر اقلیم بود.

مواد و روش‌ها

به منظور شناسایی مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم آلوده به علف‌هرز جودره در استان لرستان، در مجموع 397 مزرعه به طور تصادفی از بین مزارع گندم دیم مناطق مختلف 10 شهرستان استان لرستان طی دو سال زراعی 1392-93 و 94-1393 انتخاب شد و ارزیابی لازم به منظور بررسی میزان آلودگی این علف‌هرز کشیده‌برگ صورت گرفت (شکل 1). در همین راستا ابتدا فهرستی از مناطق مهم کشت گندم دیم در شهرستان‌های مختلف استان تهیه شد، سپس متناسب با سطح زیر کشت گندم دیم در هر شهرستان تعدادی مزرعه به طور تصادفی برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. پایش مزارع به نحوی بود که همه مناطق مهم کشت گندم دیم در استان را در بر گیرد. انتخاب مزارع به فاصله تقریبی 3-5 کیلومتر از یکدیگر بسته به وجود کشت گندم دیم انجام شد. بازدید مزارع بعد از ظهور سنبله گندم به تدریج در اواخر فروردین از مناطق جنوبی استان با اقلیم گرم شروع و تا اواخر خردادماه به مناطق سرد شمالی ختم شد. در هر مزرعه طبق الگوی W معکوس، پنج نقطه به فواصل تقریبی 20 متر انتخاب و تعداد سنبله علف‌های هرز کشیده‌برگ به تفکیک گونه در کادر 0/5×0/5 متر شمارش شد. مختصات جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در هر مزرعه با استفاده از GPS مدل گارمین¹ ثبت شد.

اقلیمی اثر مهمی بر پراکنش گونه‌ها دارد (Taylor et al., 2012). میانگین داده‌های دمایی نواحی خشکی و اقیانوس‌های جهان گویای افزایش 0/85 (در دامنه 0/65 تا 1/06) درجه سانتی‌گراد طی دوره زمانی از سال 1880 تا 2012 میلادی است. افزایش میانگین دمای جهانی برای دوره زمانی 2081-2100 میلادی نسبت به دوره زمانی 1986-2005 میلادی بسته به سناریوهای مختلف در دامنه 1/7-0/3 تا 4/8-2/6 درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است (IPCC, 2013). تغییر اقلیم علاوه بر تهدیدات جدی برای تنوع زیستی، کشاورزی و سلامت بشر بر گونه‌های مهاجم نیز اثرگذار است. اثر آنی تغییر اقلیم بر گونه‌های مهاجم تغییر الگوی پراکنش به دلیل تغییرات دما و الگوهای بارش تعیین‌کننده کرانه‌های گستره توزیع گونه‌هاست (Taylor et al., 2012).

پراکنش سریع گونه‌های مهاجم در راستای جهانی شدن، تنوع زیستی بومی در جهان را با تهدید مواجه ساخته و زیان‌های اقتصادی هنگفتی در پی داشته است (Liu et al., 2011). با افزایش تجارت جهانی، شمار نقل و انتقال عمدی و غیرعمدی گونه‌های خارجی روبه تزاید است. در واقع تهاجم زیستی بعد از تخریب زیستگاهی به دومین عامل مهم زوال تنوع زیستی تبدیل شده است (Keane & Crawley, 2002).

باید در نظر داشت که علاوه بر شرایط اقلیمی، برهم‌کنش‌های زیستی و توانایی پراکنش نیز در استقرار گونه‌های گیاهی تأثیرگذارند. عوامل بسیاری موفقیت استقرار گونه‌های مهاجم را تحت تأثیر قرار می‌دهند که از جمله آن‌ها می‌توان به ترکیب و غنای گونه‌ای موجود، رقابت‌کننده‌ها، عوامل شکارگر، فراهمی عناصر غذایی و فعالیت‌های انسانی اشاره کرد. هر چند نواحی پیش‌بینی شده برای امکان تهاجم الزاما به معنای امکان استقرار گونه مهاجم در ناحیه مورد نظر نیست، اما اطلاعات سودمندی برای شناسایی مناطق مستعد تهاجم فراهم می‌آورد (Zhu et al., 2012).

گسترش تجارت جهانی به فرآیند تهاجم زیستی دامن زده است (Mack et al., 2000). در کنار تغییرات اقلیمی، تهاجم‌های زیستی نیز به فهرست عوامل مهم پیش‌برنده تغییرات جهانی اضافه شده‌اند (Kriticos et al., 2003). مدیریت مؤثر این قبیل تهاجم‌ها تا حد زیادی به آگاهی درباره پراکنش بالقوه مورد انتظار و فراوانی نسبی گونه‌های مهاجم در شرایط جاری و تحت سناریوهای اقلیمی آتی وابسته است. چنین اطلاعاتی برای ارزیابی ریسک و همچنین اتخاذ



شکل 1- وضعیت پراکنش 397 مزرعه گندم دیم انتخابی به طور تصادفی برای بررسی سطح آلودگی علف‌های هرز کشیده‌برگ در استان لرستان
Fig. 1- The distribution of 397 randomly selected dryland wheat fields to check the level of grass weed infestation in the Lorestan province

مذکور از بدو تاسیس تا مردادماه 1394، میانگین دمای حداقل سردترین ماه سال برابر 2/6 درجه سانتی‌گراد زیر صفر و میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال برابر 36/6 درجه سانتی‌گراد بود. میانگین بارش سالانه در ناحیه مورد نظر برابر 469/4 میلی‌متر بود. این ناحیه معتدل گرم محسوب می‌شود.

منطقه اقلیمی که در آن علف‌هرز جودره بیشترین شدت حضور را داشت به عنوان اقلیم مطلوب برای حضور این گونه علف‌هرز محسوب شد و با استفاده از شاخص مشابهت اقلیمی² (CMI) میزان تشابه اقلیم مناطق مختلف با ناحیه مورد نظر به عنوان معیاری از قابلیت تهاجم‌پذیری آن منطقه برآورد شد.

شاخص مشابهت اقلیمی (CMI): شاخص مشابهت اقلیمی (معادله 1) معیاری است که در برنامه کلیمکس برای بررسی میزان شباهت اقلیمی مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آنالیز مشابهت اقلیمی، داده‌های آب و هوایی درازمدت مناطق مورد مقایسه قرار می‌گیرد. سطح شباهت اقلیم مناطق مختلف بر اساس شاخص مشابهت اقلیمی متشکل از پارامترهای میانگین ماهیانه دمای حداکثر، میانگین ماهیانه دمای حداقل و مقدار و الگوی بارش صورت می‌گیرد. هر یک از این اجزاء در دامنه صفر تا یک متغیر هستند. عدد یک گویای انطباق کامل شاخص اقلیمی مورد نظر برای مکان جدید با

برای تعیین مناطق اصلی آلوده به علف‌هرز، شاخصی با عنوان شاخص شدت حضور علف‌هرز تعریف شد (Mousavi, 2015). شاخص شدت حضور¹ برابر میانگین شاخص نسبت تراکم و نسبت فراوانی تعریف شد. نسبت تراکم برابر سهم تراکم هر گونه در هر مزرعه از مجموع تراکم آن گونه در همه مزارع است. به همین ترتیب نسب فراوانی نیز برابر سهم فراوانی هر گونه در هر مزرعه از مجموع فراوانی آن گونه در همه مزارع است.

بر اساس شاخص شدت حضور علف‌هرز جودره، ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مربوط به مناطق اصلی آلوده به این علف‌هرز در سطح استان لرستان مشخص گردید. در سطح استان لرستان 14 ایستگاه هواشناسی سینوپتیک وجود دارد. نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک به کانون‌های آلودگی علف‌هرز جودره شامل ایستگاه‌های ایمان‌آباد و ریمله خرم‌آباد، دورود، کوهدشت و الشتر سلسله بودند. با ناحیه‌بندی صورت گرفته هر مزرعه مورد بازدید به نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک منتسب شد. با توجه به میانگین شاخص شدت حضور علف‌هرز جودره مربوط به ناحیه تحت پوشش هر ایستگاه سینوپتیک، ناحیه آلودگی این علف‌هرز در استان لرستان مشتمل بر اقلیم پنج ایستگاه هواشناسی یاد شده تعیین شد. براساس آمار بلندمدت هواشناسی ناحیه آلوده (آمار هواشناسی پنج ایستگاه

2- Composite Match Index

1- Presence intensity index

محل مورد نظر است (Sutherst et al., 2007).

$$CMI = (I_{Temp} \times I_{Rain})^{\frac{1}{2}} \times 100 \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن، CMI : شاخص مشابهت اقلیمی، I_{Temp} : شاخص مشابهت دمایی (معادله 2) که گویای میانگین شاخص‌های مشابهت بیشینه دما (معادله 3) و کمینه دماست (معادله 4) و I_{Rain} : شاخص مشابهت بارش (معادله 5) است.

$$I_{Temp} = \frac{I_{Tmin} + I_{Tmax}}{2} \quad (2) \text{ معادله}$$

$$I_{Tmax} = \exp(-K_T \times T_{dmax}) \quad (3) \text{ معادله}$$

$$I_{Tmin} = \exp(-K_T \times T_{dmin}) \quad (4) \text{ معادله}$$

که در آن، T_{dmin} و T_{dmax} : تفاوت مطلق هفتگی دماهای حداقل و حداکثر بین دو مکان مورد نظر است. K_T : ثابت معادله است. $K_T = 0.1$ گویای شاخص 0/9 برای اختلاف دمای هفتگی 1 درجه سانتی‌گراد و شاخص 0/6 برای اختلاف دمای هفتگی 5 درجه سانتی‌گراد است.

$$I_{Rain} = \exp(-K_p \times R_D) \quad (5) \text{ معادله}$$

که در آن، R_D : میانگین تفاوت مطلق بارندگی هفتگی مناطق مورد مقایسه با ضرب در مقدار $R_Z = \frac{R_M}{R_T}$ ، R_M : بارش سالیانه در مکان جدید مورد مقایسه و R_T : بارش سالیانه در محل اولیه، K_p : ثابت معادله، $K_p = 0.005$ گویای شاخص 0/9 برای تفاوت بارش هفتگی 20 میلی‌متری و شاخص 0/6 برای تفاوت بارش هفتگی 100 میلی‌متری است.

هر چه عدد شاخص مشابهت اقلیمی یک منطقه به عدد یک نزدیک‌تر باشد گویای مشابهت بیشتر اقلیم آن منطقه با ناحیه آلوده است. هر چه عدد شاخص مشابهت اقلیمی به صفر نزدیک‌تر باشد گویای تفاوت بیشتر اقلیم منطقه مورد نظر با ناحیه آلوده و بدین ترتیب سطح احتمال کمتر تهاجم علف‌هرز به ناحیه جدید است.

داده‌های آب و هوایی: داده‌های آب‌وهوایی شامل میانگین حداقل دمای ماهیانه، میانگین حداکثر دمای ماهیانه و میانگین بارش ماهیانه همه ایستگاه‌های سینوپتیک کشور (363 ایستگاه سینوپتیک) از بدو تاسیس تا مردادماه 1394 برای راه‌اندازی برنامه کلیمکس مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر این برای برآورد شاخص مشابهت اقلیمی از آمار درازمدت 2208 ایستگاه‌های هواشناسی در سطح جهان استفاده شد. تهیه نقشه‌های مبتنی بر درون‌یابی با استفاده از فایل داده‌های

آب‌وهوایی 30 ساله (1961-1990) با مقیاس 30 دقیقه جغرافیایی انجام شد (Kriticos et al., 2012).

سناریوهای تغییر اقلیم: سناریوی A_1 گویای آینده جهان با رشد اقتصادی بسیار سریع، همراه با به اوج رسیدن جمعیت جهان در نیمه قرن جاری و روند کاهشی پس از آن و معرفی سریع فناوری‌های نوین و کارآمدتر است. این سناریو براساس جهت‌گیری سیستم انرژی به سه گروه تقسیم می‌شود که A_1B بیانگر بهره‌گیری متوازن از منابع فسیلی و غیرفسیلی است. سناریوی A_2 توصیف‌کننده دنیای بسیار گوناگونی است. جمعیت جهان به تدریج افزایش خواهد یافت، توسعه اقتصادی عمدتاً منطقه‌ای و سرانه رشد اقتصادی کمتر از دیگر سناریو خواهد بود. جمعیت جهان برای سال 2100 میلادی براساس سناریوهای A_1B و A_2 به ترتیب 7/1 و 15/1 میلیارد نفر برآورد شده است. سهم منابع غیرکربنی مورد استفاده برای تامین انرژی در این سال براساس سناریوهای A_1B و A_2 به ترتیب 65 و 28 درصد برآورد شده است. میزان دی‌اکسیدکربن ناشی از سوخت‌های فسیلی در سال یاد شده براساس سناریوهای A_1B و A_2 به ترتیب برابر 13/1 و 28/9 گیگاتن کربن در سال تخمین زده می‌شود. افزایش دما تا سال 2100 برای دو سناریوی A_1B و A_2 به ترتیب برابر 2/9 و 3/8 درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است (Nakicenovic et al., 2000).

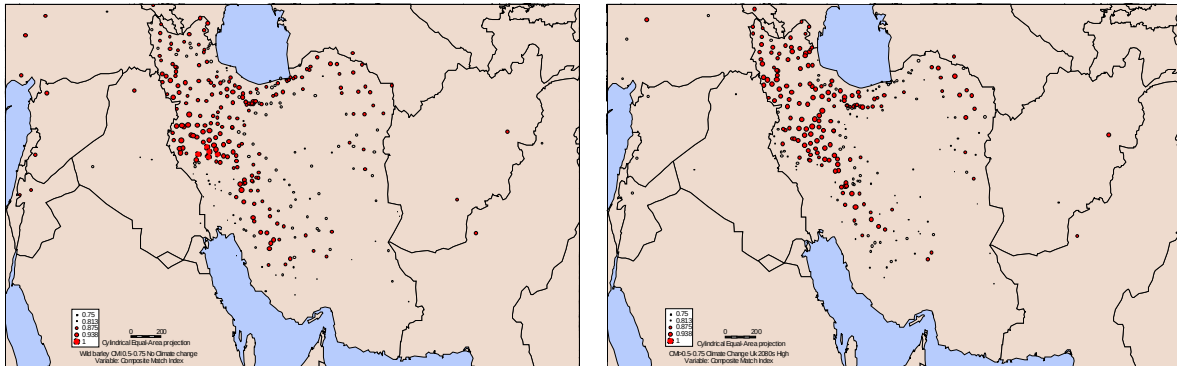
در این تحقیق، اثر تغییر اقلیم بر قابلیت تهاجم علف‌هرز جودره در قالب دو سناریوی A_1B و A_2 با مقیاس 30 دقیقه جغرافیایی (IPCC IV SRES Scenarios A_1B and A_2) و با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی بر اساس سناریوی تغییر اقلیم انگلستان (UK High 2080s) ارزیابی شد.

نتایج و بحث

قابلیت تهاجم‌پذیری شهرها: از مجموع 363 ایستگاه سینوپتیک کشور 47 ایستگاه دارای شاخص مشابهت اقلیمی بیش از 0/9 بودند. اسلام‌آباد غرب، بروجرد، ایوان، تویسرکان، کنگاور، جواترود، کرمانشاه، کامیاران، اردل، سیلاخور، سرارود، سنج، شمیران تهران، روانسر، رومشکان، نهاوند، ایلام، فارس، تازه‌آباد، نورآباد دلفان، مهاباد، ازنا، سنقر، هرسین، سیسخت، خرم‌آباد، سپیدان، زرقان، معلم کلاهی، سرابله، بوکان، قزوین، شاهین دژ، بانه، بیله‌سوار، شازند، تخت جمشید، اراک، خمین، هشتگرد، سقز، اشنویه، سامان، خنداب، شیراز، شهرکرد و ملایر با داشتن شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/9

نیک‌شهر، بستک، چابهار، بندرلنگه، جاسک، قشم، برازجان، شادگان، سیری، میناب، بندر انزلی، لاوان، کهنوج، عسلویه، قشم، ابوموسی، آعاجاری، بندرعباس، جیرفت، سردشت بشاگرد، کیش، بندر دیر، اهواز، میرجاوه، گلباف، هندیجان، آبادان، لامرد، ماهشهر و میانه جیرفت با شاخص مشابهت اقلیمی کمتر از 0/5 نامساعدترین مناطق برای استقرار علف‌هرز جودره محسوب می‌شوند (شکل 2).

آسیب‌پذیرترین مناطق ایران در برابر تهاجم علف‌هرز جودره به شمار می‌روند. لردگان، الیگودرز، شول‌آباد و مانه و سملقان با شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/84 دیگر مناطق قرار گرفته در گروه مناطق بسیار مهم و دارای بالاترین سطح مشابهت اقلیمی با منطقه آلوده به علف‌هرز جودره در استان لرستان هستند. از سوی دیگر مناطق راسک، بندر خمیر، شهداد، پارسیان، کنارک، ایرانشهر، رودان،



شکل 2- نواحی حائز شاخص مشابهت اقلیمی قابلیت تهاجم علف‌هرز جودره بیشتر از 0/75 در شرایط جاری (چپ) و تغییر اقلیم (راست) نواحی حائز شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/9 با رنگ قرمز نشان داده شده است.

Fig. 2- The regions with CMI>0.75 in terms of wild barley weed invasion potential, under current climate condition (Left) and climate change (Right)
CMI values more than 0.9 has been shown in red.

آب‌وهوایی برای استقرار علف‌هرز جودره در مناطق ایمان‌آباد 16/9 درصد، ریمله 19/0 درصد، دورود 23/4 درصد، کوهدشت 21/8 درصد و الشتر 15/1 درصد برآورد شد. از سوی دیگر اقلیم الیگودرز به میزان 3/6 درصد برای استقرار علف‌هرز جودره مساعدتر خواهد شد (شکل 2).

قابلیت تهاجم‌پذیری استان‌ها: در بین استان‌های کشور بالاترین سطح شاخص مشابهت اقلیمی از نظر تهاجم علف‌هرز جودره به استانهای لرستان و کرمانشاه و کمترین آن به استان هرمزگان مربوط بود. استان‌های کرمانشاه، البرز، همدان، کردستان، مرکزی، قزوین و چهارمحال و بختیاری با شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/81 با ناحیه آلوده به جودره در لرستان مستعدترین استان‌های کشور از نظر شرایط اقلیمی برای استقرار علف‌هرز جودره در شرایط دیم هستند. از این نظر استان‌های آذربایجان غربی، زنجان، گلستان، تهران، آذربایجان شرقی، اردبیل، خراسان رضوی، خراسان شمالی، اصفهان و ایلام با شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/75 در رتبه بعدی قرار داشتند. بر این اساس استان‌های فارس، مازندران، سمنان، قم،

میانگین ارتفاع از سطح دریا برای این نواحی که از نظر قابلیت تهاجم‌پذیری علف‌هرز جودره در رتبه بسیار مهم قرار داشتند، 1544 متر از سطح دریا بود. میانگین ارتفاع از سطح دریا برای چهار ناحیه قرار گرفته در رتبه‌های مهم، متوسط، کم اهمیت و بی‌اهمیت به ترتیب برابر 1375، 1291، 465 و 223 متر از سطح دریا بود.

برآورد شاخص مشابهت اقلیمی در شرایط تغییر اقلیم بر اساس سناریوی تغییر اقلیم انگلستان برای سال 2080 میلادی نشان دهنده این است که مناطق آوج، شهرکرد، اسدآباد، همدان، ملایر، نوژه، خوانسار، سمیرم، خدابنده، میاندوآب، طالقان، شازند، نقده، کنگاور، اشنویه، سنقر، ارومیه، دماوند، داران، رزن، خمین، قزوین، قوچان، بوکان، شاهین‌دژ، مهاباد، سارین، الیگودرز، پیرانشهر، تویسرکان، قروه، خنداب، زنجان، بیجار، بروجن، خرمدره، اقلید، کوهین، نورآباد دلفان، سامان، اراک، نهاوند، معلم‌کلا، ازنا، گرماب، نیر، تکاب، هزارکانبان، کمیجان، خیرآباد، مرند، دیلمان، فیروزآباد اردبیل، فریدون شهر، فرخ‌شهر، هریس و قهاوند از شاخص مشابهت اقلیمی بالاتر از 0/9 برخوردار خواهند بود. بر اثر تغییر اقلیم، درصد کاهش تناسب شرایط

خوزستان، گیلان و کرمان نامساعدترین اقلیم برای استقرار علف‌هرز
جودره و دارای کمترین ریسک تهاجم این علف‌هرز بودند (شکل 3).

کهگیلویه و بویراحمد، خراسان جنوبی و یزد در مقایسه با دیگر
استان‌ها در شرایط متوسطی از نظر تهاجم‌پذیری در مقابل این
علف‌هرز قرار داشتند. هرمزگان، سیستان و بلوچستان، بوشهر،

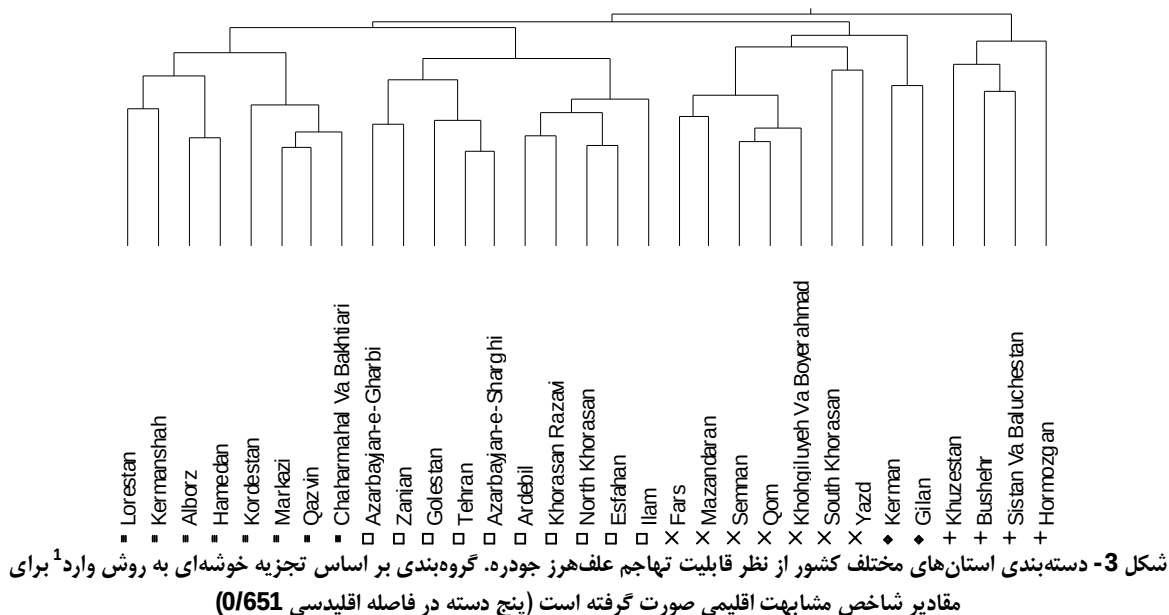


Fig. 3- The classification of the different provinces in terms of wild barley weed invasion potential. Cluster analysis in Ward method was done for grouping CMI values (five categories with 0.651 distance)

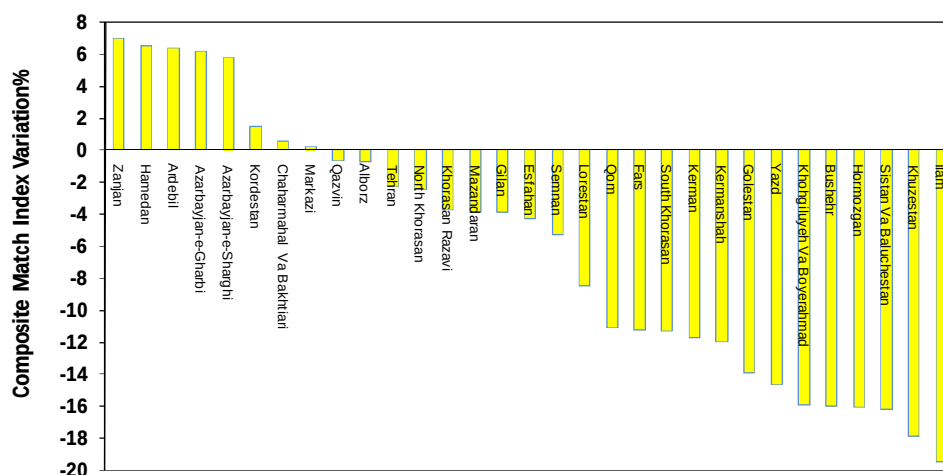
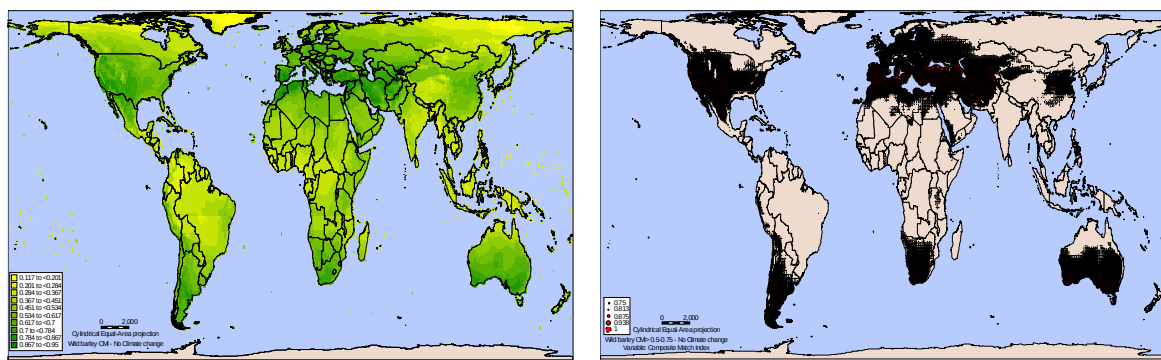


Fig. 4- Percentage changes in CMI values for different provinces in terms of wild barley weed invasion potential, under climate change condition

لتونی، الجزایر، لهستان، آرژانتین، استونی، لسوتو، لبنان، هلند، آفریقای جنوبی، لیتوانی، ایالات متحده آمریکا، بوسنی و هرزگوین، دانمارک، بلاروس، لوکزامبورگ، جمهوری چک، بوتسوانا، استرالیا، آلبانی، بلژیک، آلمان، سوئد، آذربایجان، گرجستان، نامیبیا، کویت، انگلستان، اروگوئه، جزایر فالکلند، پاکستان و بولیوی نیز با دارا بودن شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/57 در ردیف کشورهای در معرض تهاجم این علف‌هرز محسوب می‌شوند. از سوی دیگر کشورهای کامرون، گینه اکوئوریال، جزایر کوک، اندونزی، گامبیا، سریلانکا، جزایر هبیرید، تایلند، ساحل عاج، ترینیداد و توباگو، مارتینیک، لائوس، سنت لوسیا، سورینام، السالوادور، جزایر سوسایتی، سنگاپور، فیلیپین، گویان، گویان فرانسه، کامبوج، مالزی، فی‌جی، میانمار، بنگلادش، گینه، پاناما، سیرالئون، ساموای غربی، گینه بیسائو لیبیا با شاخص مشابهت اقلیمی کمتر از 0/32 از حداقل ریسک برای استقرار علف‌هرز جوهره برخوردار بودند (شکل 5).

در شرایط تغییر اقلیم بر اساس سناریوی تغییر اقلیم انگلستان برای سال 2080 میلادی، شرایط آب و هوایی استان‌های زنجان، همدان، اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان، چهارمحال و بختیاری و مرکزی برای استقرار علف‌هرز جوهره مساعدتر و سایر استان‌ها نامساعدتر می‌شوند. در شرایط تغییر اقلیم، استان لرستان به میزان 8/5 درصد برای استقرار علف‌هرز جوهره نامساعد خواهد شد (شکل 4).

قابلیت تهاجم‌پذیری کشورها: بر اساس تجزیه خوشه‌ای صورت گرفته کشورهای ازبکستان، سوریه، مقدونیه، افغانستان، اردن، ارمنستان، یونان، ترکمنستان، اسپانیا، ترکیه، بلغارستان، ایران، تونس، یوگسلاوی، ایتالیا، رومانی، مراکش، پرتغال، مجارستان و اکراین با داشتن شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/67 مستعدترین کشورها برای استقرار علف‌هرز جوهره به شمار می‌روند. بر این اساس کشورهای موناکو، فرانسه، کراوسی، عراق، فلسطین اشغالی، لیبی،



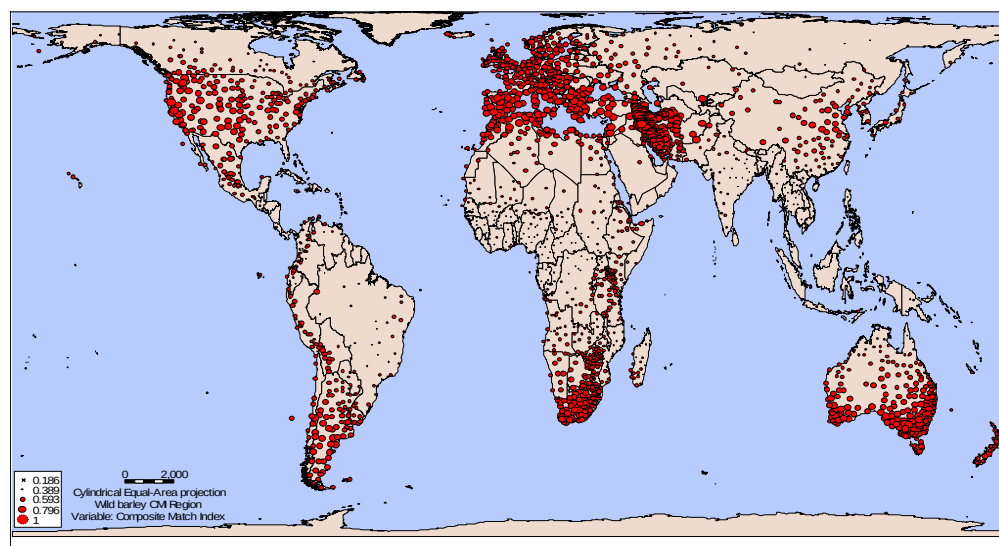
شکل 5- شاخص مشابهت اقلیمی برای مناطق مختلف جهان بر اساس شبکه‌بندی 30 دقیقه جغرافیایی (سمت چپ) مناطق حائز شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/5 که نواحی با شاخص بیشتر از 0/75 با رنگ قرمز نشان داده شده است (سمت راست).

Fig. 5- CMI for different regions of world based on 30 minutes geographical grid (left) Areas with CMI greater than 0.5 that region with CMI more than 0.75 shown in red (right).

در مقایسه با شرایط آب‌وهوایی موجود تغییر اقلیم سبب مستعدتر شدن بیشتر از 30-10 درصد شرایط اقلیمی کشورهای کره شمالی، سوئیس، کره جنوبی، مجارستان، اتریش، بوسنی و هرزگوین، مغولستان، لوکزامبورگ، جمهوری چک، آلمان، کانادا، لهستان، رومانی، یوگسلاوی، جورجیای جنوبی، بلژیک، روسیه، بلغارستان، هلند، اوکراین، سوئد، قزاقستان، فنلاند، بلاروس، انگلستان، نروژ، فرانسه، دانمارک و ایرلند برای تهاجم علف‌هرز جوهره در مناطق دیم می‌شود.

در شرایط موجود، کشورهای اسپانیا، ایالات متحده آمریکا، الجزایر، یونان، سوریه، ترکیه، ایتالیا، استرالیا، ازبکستان، تونس، پاکستان، عراق، مراکش، شیلی، افغانستان، بلغارستان، مقدونیه، پرتغال، آرژانتین، ترکمنستان، لیبی، رومانی، اردن، آفریقای جنوبی، فرانسه، ارمنستان، اکراین، فلسطین اشغالی و چین حداقل دارای یک منطقه با مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/8 با ناحیه آلوده به علف‌هرز جوهره در لرستان هستند (شکل‌های 6 و 7).

بر اساس سناریوی تغییر اقلیم انگلستان برای سال 2080 میلادی



شکل 6- شاخص مشابهت اقلیمی برای مناطق مختلف جهان از نظر قابلیت تهاجم علف‌هرز جودره در شرایط جاری
Fig. 6- CMI for different region around the world in terms of wild barley invasion in the current condition

لویستون، پندلتون و اسپوکن ایالات متحده آمریکا، کونیوا، آنکارا، کاستامونا و سیواس ترکیه، والادولید و سالامانکا اسپانیا، کابل افغانستان، وارنا و پلودیف بلغارستان، تاشکند ازبکستان، الجلفه الجزایر و تبیلیسی جورجیا با شاخص مشابهت اقلیمی برآورد شده بیشتر از 0/9 آسیب‌پذیرترین مناطق جهان در برابر تهاجم علف‌هرز جودره خواهند بود (شکل 9).

بر اساس شبکه‌بندی جغرافیایی 30 دقیقه‌ای در شرایط فعلی فقط 0/35 درصد از سطح کره زمین دارای شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/9 با منطقه آلوده به علف‌هرز جودره در لرستان است. این مقدار برای شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/8 به 3/72 درصد می‌رسد. تحت سناریوهای تغییر اقلیم سطح مستعد تهاجم علف‌هرز جودره تغییر می‌یابد. دامنه تغییرات در دهه‌های مختلف تا سال 2100 میلادی نسبت به شرایط جاری برای سناریوهای A_1B و A_2 گویای افزایش به ترتیب 28/36 و 25/7 درصد سطح مناطق دارای مشابهت اقلیمی بیش از 0/9 با ناحیه آلوده به علف‌هرز جودره در لرستان است. در مورد مناطق حائز شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/8 بر اساس سناریوهای A_1B و A_2 افزایش سطح به ترتیب 12/2 و 16/6 درصد برآورد می‌شود (شکل 10).

در بین قاره‌های جهان بالاترین سطح میانگین مقادیر شاخص مشابهت اقلیمی قابلیت تهاجم علف‌هرز جودره در شرایط آب‌وهوایی

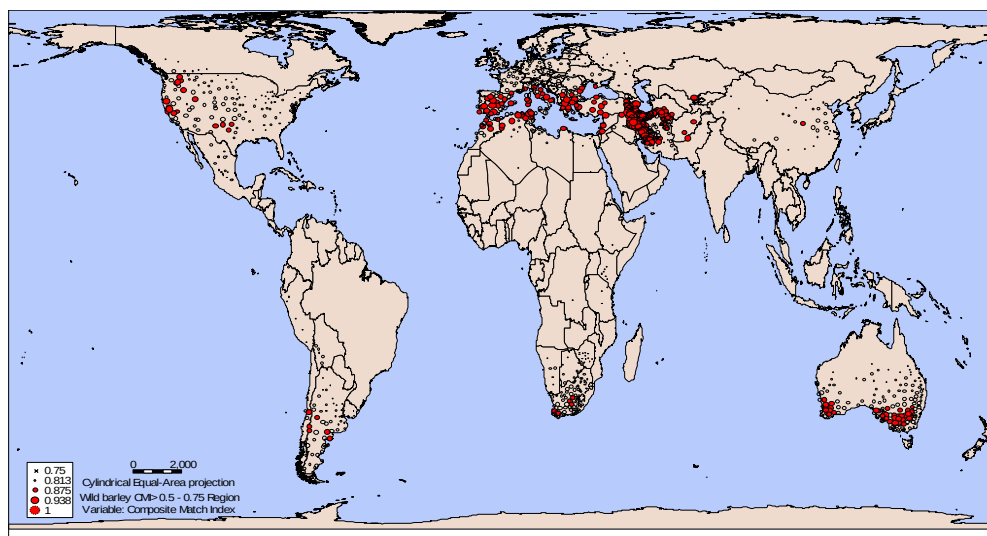
از سوی دیگر، در شرایط تغییر اقلیم شرایط آب‌وهوایی کشورهای لبنان، کویت، عراق، عربستان، امارات، جیبوتی، بحرین، سوریه، موریتانی، فلسطین اشغالی، نیجر، یمن جنوبی، پاکستان، کوراکائو، مصر، اریتره، یونان، الجزایر، تونس، عمان، لیبی، سودان، مالی، جامائیکا، نامیبیا، بوتسوانا، هایتی، باربادوس و پاراگوئه به میزان 18-10 درصد برای استقرار علف‌هرز جودره نامساعدتر خواهد شد. بر اساس این سناریوی تغییر اقلیم شرایط اقلیمی ایران در سال 2080 میلادی به طور متوسط به میزان 5/6 درصد برای استقرار علف‌هرز جودره نامساعدتر خواهد شد (شکل‌های 8 و 9).

برآورد شاخص مشابهت اقلیمی در شرایط تغییر اقلیم برای سال 2080 میلادی گویای این است که کشورهای ایالات متحده آمریکا، ترکیه، اسپانیا، افغانستان، بلغارستان، ازبکستان، الجزایر، جورجیا، مقدونیه، رومانی، یوگسلاوی، مجارستان، ایتالیا، اوکراین، ارمنستان، آرژانتین، کرواسی، روسیه، جمهوری چک، لهستان، فرانسه، استرالیا، آفریقای جنوبی، چین، ترکمنستان، پاکستان، کانادا، اتریش، یونان، آلمان، مراکش، سوئد، انگلستان و شیلی حداقل دارای یک ناحیه با مشابهت اقلیمی بالای 0/8 با ناحیه آلوده به علف‌هرز جودره در لرستان خواهند بود (شکل‌های 8 و 9).

برآورد شاخص مشابهت اقلیمی در شرایط تغییر اقلیم برای سال 2080 گویای این است که مناطق سالت‌لک‌سیتی، والاولا، بویس،

جاری به قاره اروپا اختصاص داشت. از این نظر قاره‌های آسیا، اقیانوسیه و آمریکای شمالی در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. میانگین شاخص مشابهت اقلیمی برای آفریقا و آمریکای جنوبی به میزان قابل توجهی کمتر از سایر قاره‌ها بود. میانگین شاخص مشابهت اقلیمی برای کل جهان در شرایط آب‌وهوایی جاری برابر 0/55 بود (شکل 11).

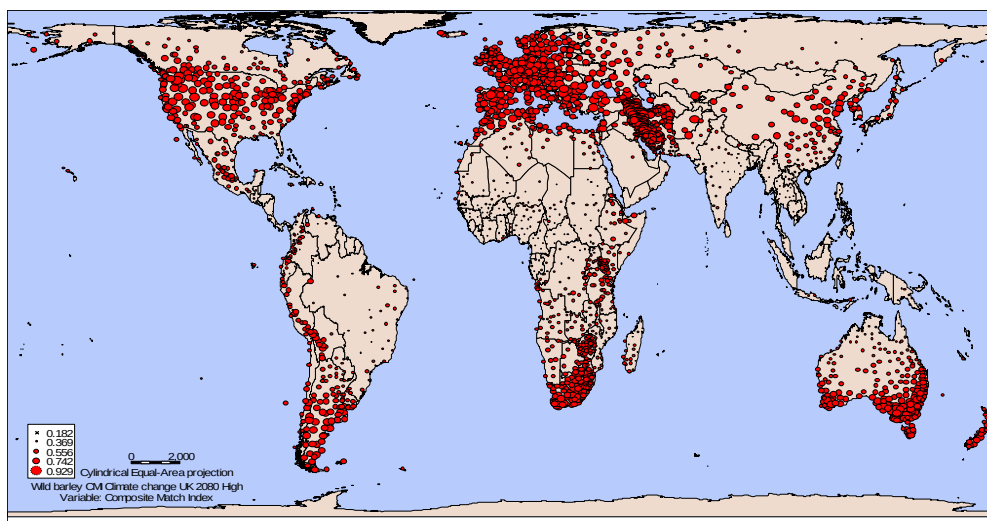
برآورد میانگین شاخص مشابهت اقلیمی قابلیت تهاجم علف‌هرز جودره در شرایط تغییر اقلیم گویای تأثیرپذیری معنی‌دار این شاخص برای همه قاره‌ها به استثنای آمریکای جنوبی است.



شکل 7- مناطق حائز شاخص مشابهت اقلیمی تهاجم جودره بیشتر از 0/5

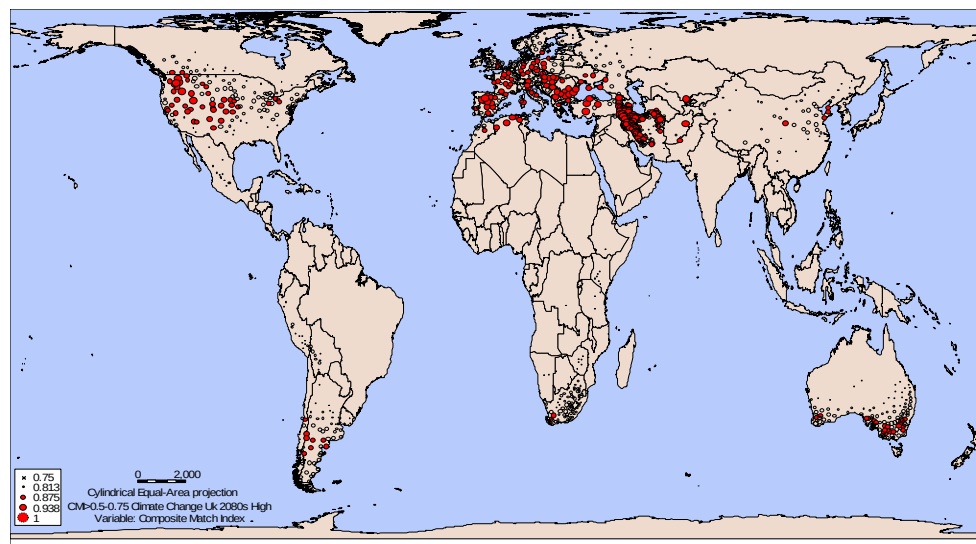
مقادیر شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/75 با رنگ قرمز نشان داده شده است.

Fig. 7- The region with CMI>0.5 in terms of wild barley weed invasion
CMI values more than 0.75 has been shown in red



شکل 8- مقادیر شاخص مشابهت اقلیمی برای مناطق مختلف جهان از نظر تهاجم علف‌هرز جودره در شرایط تغییر اقلیم

Fig. 8- CMI values for different region around the world in terms of wild barley weed invasion under the climate change UK 2080 High



شکل 9- شاخص مشابهت اقلیمی مناطق مختلف جهان از نظر تهاجم جودره در شرایط تغییر اقلیم

مقادیر بیشتر از 0/75 با رنگ قرمز نشان داده شده است.

Fig. 9- CMI > 0.5 values for different region around the world in terms of wild barley weed invasion potential under the climate change UK 2080 High

CMI values more than 0.75 has been shown in red

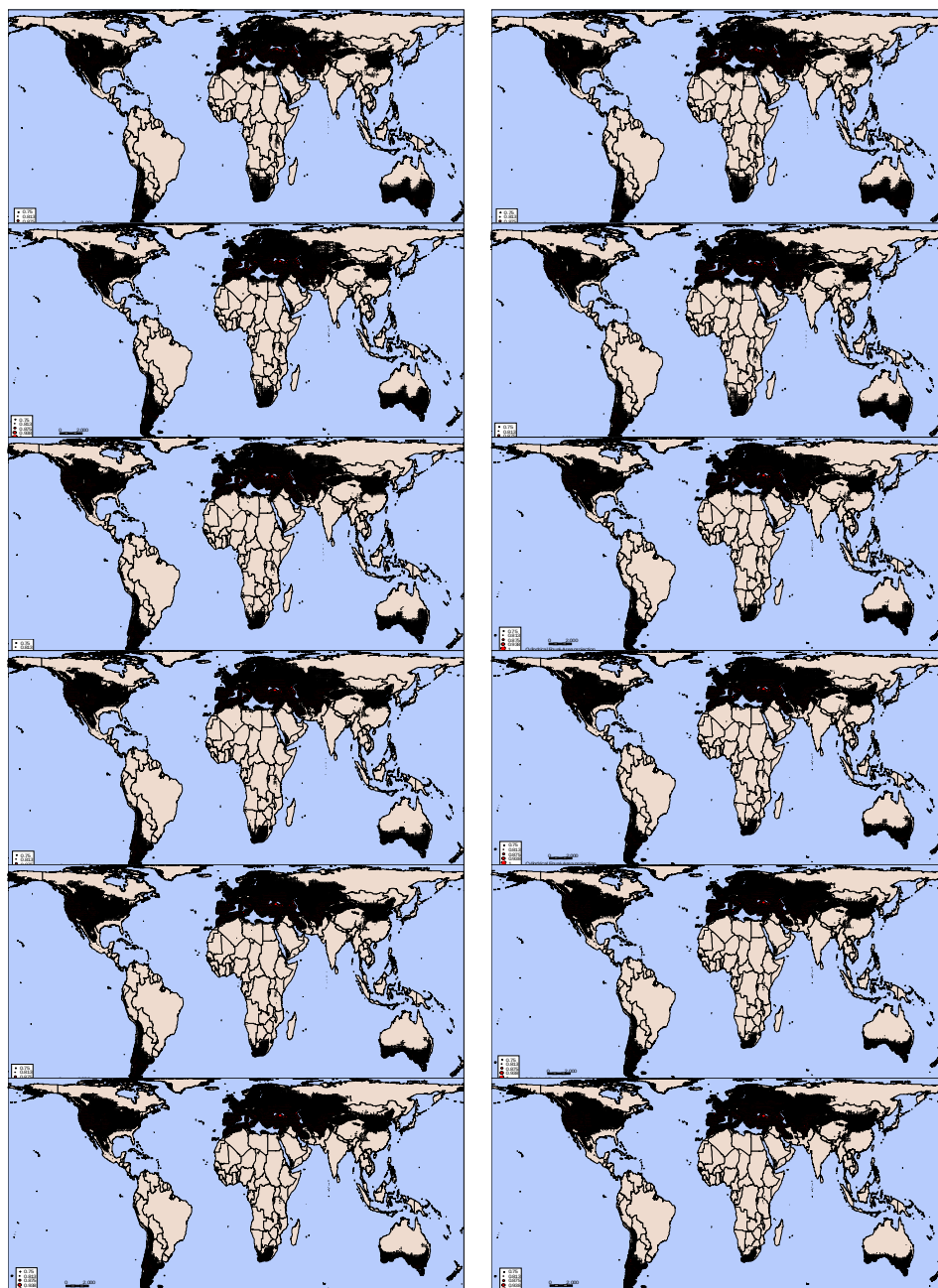
موسسه جهانی اطلاعات تنوع زیستی¹ که مهمترین پایگاه اطلاعاتی ثبت گونه‌ها در دنیاست (بی‌نام، 2016) برای جودره در مجموع 4907 مورد در سطح 26 کشور با اولویت فراوانی ثبت شامل فلسطین اشغالی، ایالات متحده آمریکا، ترکیه، یونان، ترکمنستان، ارمنستان، چین، آذربایجان، ایران، عراق، سوریه، ازبکستان، لیبی، تاجیکستان، افغانستان، قبرس، اردن، مراکش، اکراین، آلمان، انگلستان، هند، قرقیزستان، نپال، کره شمالی و سوئد به ثبت رسانده است. حضور علف‌هرز جودره در منطقه شیشم میان‌کوه شرقی لرستان در ارتفاع 725 متر از سطح دریا به وسیله گیاه‌شناس هلندی ماریوس جکوبس در سال 1963 به ثبت رسیده است (GBIF, 2016).

در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پتانسیل پراکنش بالقوه درختچه مهاجم شاه‌پسند درختچه‌ای (*Lantana camera*) معلوم شده است که به دلیل مساعدتر شدن شرایط اقلیمی برخی مناطق تحت شرایط تغییر اقلیم، این درختچه مهاجم در برخی نواحی دنیا گسترش می‌یابد. تحت شرایط تغییر اقلیم امکان توسعه علف‌های هرز به مناطقی که در حال حاضر برای بقا و استقرار خیلی سرد هستند، فراهم می‌شود.

میانگین شاخص مشابهت اقلیمی در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با شرایط جاری برای قاره‌های اروپا و آمریکای شمالی به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 7/3 و 6/9 درصد افزایش و برای قاره‌های اقیانوسیه، آفریقا و آسیا به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 4/6، 3/7 و 2/5 درصد کاهش نشان داد. میانگین شاخص مشابهت اقلیمی تهاجم علف‌هرز جودره برای کل جهان در شرایط تغییر اقلیم نسبت به وضعیت جاری به میزان 0/4 درصد کاهش نشان داد (شکل 11). بر اساس تجزیه خوشه‌ای صورت گرفته قاره اروپا مستعدترین اقلیم برای تهاجم علف‌هرز جودره و قاره آمریکای جنوبی در شرایط جاری و قاره آفریقا در شرایط تغییر اقلیم نامساعدترین قاره برای تهاجم این علف‌هرز بودند (شکل 12).

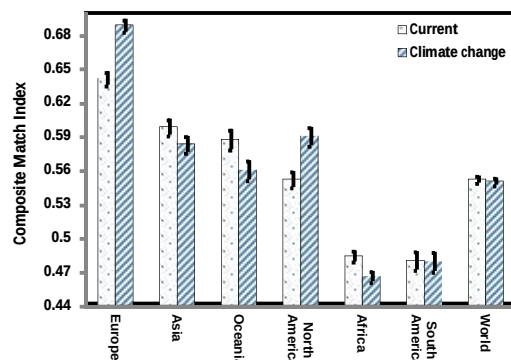
میانگین شاخص مشابهت اقلیمی برآورد شده برای کشورهای که حضور علف‌هرز جودره در آن‌ها به وسیله موسسه جهانی اطلاعات تنوع زیستی به ثبت رسیده 40 درصد بیشتر از میانگین شاخص مشابهت اقلیمی برآورد شده برای سایر کشورها بود. آزمون t نیز گویای برتری کاملاً معنی‌دار ($P < 0/0001$) میانگین شاخص مشابهت اقلیمی کشورهای مذکور در مقایسه با میانگین شاخص مشابهت اقلیمی برآورد شده برای سایر کشورها بود.

1- Global biodiversity information facility (GBIF)

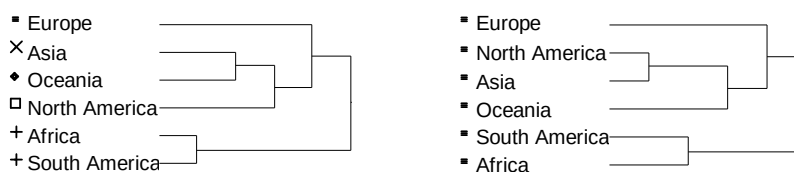


شکل 10- مناطق حائز شاخص مشابهت اقلیمی بیشتر از 0/5 از نظر قابلیت تهاجم جودره در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوی A₁B (سمت چپ) و سناریوی A₂ (سمت راست) از بالا به پایین برای سال‌های 2030، 2050، 2070، 2080، 2090 و 2100 میلادی. مقادیر CMI بیشتر از 0/75 با رنگ قرمز نشان داده شده است.

Fig. 10- The region with CMI>0.5 in terms of wild barley weed invasion potential, under climate change scenario of A₁B (Left), and A₂ (Right), from up to down for 2030, 2050, 2070, 2080, 2090, and 2100. CMI values more than 0.75 has been shown in red



شکل 11- شاخص مشابهت اقلیمی برای قاره‌های مختلف از نظر تهاجم علف‌هرز جودره در شرایط جاری و تغییر اقلیم
Fig. 11- Climate match index values for the different continents in terms of wild barley weed invasion potential in the current and climate change conditions



شکل 12- دسته‌بندی قاره‌های مختلف از نظر قابلیت تهاجم علف‌هرز جودره در شرایط جاری (چپ) و تغییر اقلیم (راست)
گروه‌بندی بر اساس تجزیه خوشه‌ای به روش وارد برای مقادیر شاخص مشابهت اقلیمی صورت گرفته است (پنج دسته به ترتیب در فاصله اقلیدسی 0/0437 و 0/0607).

Fig. 12- The classification of the different continents in terms of wild barley weed invasion potential in the current (left) and climate change condition(right)
Cluster analysis in Ward method was done for grouping CMI values (five categories by 0.0437 and 0.0607 distance, respectively).

مهاجم در شرایط موجود و تغییر اقلیم در طراحی راهبردهای مناسب‌تر برای مدیریت تهاجم سودمند است (Taylor et al., 2012). وضع قوانین قرنطینه‌ای برای کنترل سطح آلودگی محموله‌های گندم از مناطق آلوده به سایر مناطق حائز اهمیت است. آگاهی عمومی در مورد مناطق آلوده و مناطق غیرآلوده مستعد آلودگی در مدیریت علف‌های هرز به کار می‌آید. نتایج برازش مدل‌های تغییر اقلیم گویای تغییرات احتمالی پراکنش بالقوه علف‌های هرز در سطح مناطق مختلف است. بر اثر تغییر اقلیم شرایط آب‌وهوایی برخی مناطق که در حال حاضر آلوده به علف‌هرز خاصی هستند ممکن است برای رشد و استقرار علف‌هرز مذکور نامساعد شوند. هر چند چنین امری از دیدگاه مدیریت علف‌های هرز مطلوب به نظر می‌رسد، اما باید توجه داشت که به طور هم‌زمان تحت چنین تغییرات اقلیمی تنوع زیستی به طور کلی در معرض تهدید قرار خواهد گرفت (Colwell et al., 2008). اقلیم از طریق اعمال محدودیت‌های اکوفیزیولوژیکی در تعیین

با پیش‌بینی بهبود شرایط اقلیمی اروپا برای استقرار شاه‌پسند درختچه‌ای تحت شرایط تغییر اقلیم، عنوان شده است که مراکز امنیت زیستی در این قبیل کشورها می‌بایست از چنین تهدید بالقوه‌ای آگاه باشند و به طور مستمر نواحی در معرض تهدید را پایش نمایند. نقشه‌های پراکنش ریسک تهاجم بالقوه مناطقی که در آینده تحت شرایط تغییر اقلیم مستعد تهاجم هستند از نظر آگاهی بخشی عمومی به منظور اتخاذ تدابیر پیشگیرانه سودمند است. از سوی دیگر عنوان شده است که در مناطقی که خیلی گرم یا مرطوب می‌شوند (مثل شمال استرالیا) شرایط برای استقرار شاه‌پسند درختچه‌ای نامساعد و بدین ترتیب سبب محدود شدن گستره حضور آن خواهد شد. در بررسی مذکور بین دو سناریوی تغییر اقلیم تفاوت اندکی مشاهده شد (Taylor et al., 2012).

تهدید علف‌های هرز مهاجم برای تنوع زیستی ممکن است تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گیرد. آگاهی از پراکنش بالقوه احتمالی گونه‌های

محدوده پراکنش گونه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند (Grinnell, 1917). البته عوامل دیگری نظیر عوامل خاکی و برهم‌کنش‌های زیستی نیز ممکن است به رغم مساعد بودن شرایط اقلیمی از گسترش گونه مورد نظر ممانعت به عمل آورند (Bullock et al., 2000). چنین عنوان شده است که پراکنش گونه‌ها در مقیاس وسیع تحت تأثیر عوامل غیرزیستی نظیر اقلیم قرار می‌گیرد، در حالی که در مقیاس خرد سایر عوامل به تدریج اهمیت پیدا می‌کنند (Pearson & Dawson, 2003). برهم‌کنش‌های زیستی و اثرات توپوگرافی نیز دیگر عوامل تأثیرگذار در این فرآیند هستند (Soberón, 2007).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش قاره اروپا مستعدترین اقلیم برای تهاجم علف‌هرز جودره قلمداد می‌شود. در شرایط موجود، کشورهای

اسپانیا، ایالات متحده آمریکا، الجزایر، یونان، سوریه، ترکیه، ایتالیا، استرالیا، ازبکستان، تونس، پاکستان، عراق، مراکش، شیلی، افغانستان، بلغارستان، مقدونیه، پرتغال، آرژانتین، ترکمنستان، لیبی، رومانی، اردن، آفریقای جنوبی، فرانسه، ارمنستان، اکراین، فلسطین اشغالی و چین شرایط اقلیمی مناسبی برای استقرار علف‌هرز جودره دارند. شهرهای اسلام‌آباد غرب، بروجرد، ایوان، تویسرکان، کنگاور، جواهرود، کرمانشاه، کامیاران، اردل، سیلاخور، سرارود، سنج، شمیران، تهران، روانسر، رومشکان، نهاوند، ایلام، فارس، تازه‌آباد، نورآباد دلفان، مهاباد، ازنا، سنقر، هرسین، سیسخت، خرم‌آباد، سپیدان، زرقان، معلم کلاویه، سرابله، بوکان، قزوین، شاهین‌دز، بانه، بیله‌سوار، شازند، تخت جمشید، اراک، خمین، هشتگرد، سقز، اشنویه، سامان، خنداب، شیراز، شهرکرد و ملایر آسیب‌پذیرترین مناطق کشور در برابر تهاجم علف‌هرز جودره محسوب می‌شوند.

منابع

- Beaumont, L.J., Hughes, L., and Poulsen, M. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species current and future distributions. *Ecological Modelling* 186: 250-269.
- Binggeli, P. 1996. A taxonomic, biogeographical and ecological overview of invasive woody plants. *Journal of Vegetation Science* 7: 121-124.
- Bullock, J.M., Edwards, R.J., Carey, P.D., and Rose, R.J. 2000. Geographical separation of two *Ulex* species at three spatial scales: does competition limit species' ranges? *Ecography* 23: 257-271.
- Colwell, R.K., Brehm, G., Cardelus, C.L., Gilman, A.C., and Longino, J.T. 2008. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science* 322: 258-261.
- Davis, A.J., Jenkinson, L.S., Lawton, J.H., Shorrocks, B., and Wood, S. 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature* 391: 783-786.
- Ervin, G.N., and Holly, D.C. 2011. Examining local transferability of predictive species distribution models for invasive plants: an example with cogongrass (*Imperata cylindrica*). *Invasive Plant Science and Management* 4: 390-401.
- Follak, S., and Strauss G. 2010. Potential distribution and management of the invasive weed *Solanum carolinense* in Central Europe. *Weed Research* 50: 544-552.
- Global Biodiversity Information Facility. 2016. GBIF Backbone Taxonomy. Global Biodiversity Information Facility. <http://www.gbif.org>. (13th March 2016) GBIF Occurrence Download <http://doi.org/10.15468/dl.8eghnr>
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 34: 427-433.
- Grinnell, J. 1924. Geography and evolution. *Ecology* 5: 225-229.
- Guisan, A., and Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Guisan A., and Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Ed.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, USA.
- Keane, R.M., and Crawley, M.J. 2002. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology and*

- Evolution 17: 164-170.
- Kriticos, D.J., and Randall, R.P. 2001. A Comparison of Systems to Analyze Potential Weed Distributions. In: Groves, R.H., Panetta, F.D., and Virtue, J.G. (Eds.), Weed Risk Assessment. CSIRO Publishing.
- Kriticos, D.J., Sutherst, R.W., Brown, J.R., Adkins, S.W., and Maywald, G.F. 2003. Climate change and the potential distribution of an invasive alien plant: *Acacia nilotica* ssp *indica* in Australia. Journal of Applied Ecology 40: 111-124.
- Kriticos, D.J., Watt, M.S., Potter, K.J.B., Manning, L.K., Alexander, N.S., and Tallent-Halsell, N. 2011. Managing invasive weeds under climate change: considering the current and potential future distribution of *Buddleja davidii*. Weed Research 51: 85-96.
- Kriticos, D.J., Webber, B.L., Leriche, A., Ota, N., Macadam, I., Bathols, J. and Scott, J.K. 2012. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. Methods in Ecology and Evolution 3: 53-64.
- Liu, X., Guo, Z., Ke, Z., Wang, S., and Li, Y. 2011. Increasing potential risk of a global aquatic invader in Europe in contrast to other continents under future climate change. PLoS One 6(3): e18429.
- Mack, R.N., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Evans, H., Clout, M., and Bazzaz, F.A. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. Ecological Applications 10: 689-710.
- Mousavi, S.K. 2015. Biology and ecology of wild wheat (*Triticum boeoticum*) and wild barely (*Hordeum spontaneum*) and their potential distribution under current and future climates. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Grubler, A., Riahi, K., Roehrl, R.A., Rogner, H.H., and Victor, N. 2000. Special report on emissions scenarios (SRES), a special report of Working Group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- 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: 361-371.
- Peterson, A.T. 2003. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. The Quarterly Review of Biology 78: 419-433.
- Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. Ecology Letters 10: 1115-1123.
- Sutherst, R.W. 2003. Prediction of species geographical ranges. Journal of Biogeography 30: 805-816.
- Sutherst, R.W., Maywald, G.F., and Kriticos, D.J. 2007. CLIMEX Version 3: User's Guide. Hearne Scientific Software Pty Ltd., Melbourne, Australia.
- Taylor, S., and Kumar, L. 2013. Potential distribution of an invasive species under climate change scenarios using CLIMEX and soil drainage: A case study of *Lantana camara* L. in Queensland, Australia. Journal of Environmental Management 114: 414-422.
- Taylor, S., Kumar, L., Reid, N., and Kriticos, D.J. 2012. Climate change and the potential distribution of an invasive shrub, *Lantana camara* L. PLoS One 7(4): e35565.
- Webber, B.L., Yates, C.J., Le Maitre, D.C., Scott, J.K., and Kriticos, D.J. 2011 Modeling horses for novel climate courses: insights from projecting potential distributions of native and alien Australian acacias with correlative and mechanistic models. Diversity and Distributions 17: 978-1000.
- Zhu, G., Bu, W., Gao, Y., and Liu, G. 2012. Potential geographic distribution of brown marmorated stink bug invasion (*Halyomorpha halys*). PLoS One 7(2): e31246.
- Zimmermann, N.E., Edwards, T.C., Graham, C.H., Pearman, P.B., and Svenning, J.C. 2010. New trends in species distribution modelling. Ecology 33: 985-989.



The Effects of Climate Change on Invasion Potential of Wild Barley (*Hordeum spontaneum* K.Koch) in Iran and the World

S.K. Mousavi¹, A. Ghanbari^{2*}, R. Ghorbani³ and M.A. Baghestani⁴

Submitted: 24-06-2016

Accepted: 21-01-2017

Mousavi, S.K., Ghanbari, A., Ghorbani, R., and Baghestani, M.A. 2017. The effects of climate change on invasion potential of wild barley (*Hordeum spontaneum* K.Koch) in Iran and the world. Journal of Agroecology 9(1): 245-261.

Introduction

Invasive species present a major threat to biodiversity, which may be boosted due to the climate change effects, particularly if desired weather conditions allow weed to spread to new areas. Identification of areas climatically suitable to weed establishment can offer great opportunities for stopping or decelerating invasion process. Bioclimatic and species distribution models that relate geographic data of a species to environmental variables have become an important modeling tool in invasion ecology. Although the predicted area by climex as suitable environmental for a species does not mean that, it can necessarily establish there, it does suggest a beneficial knowledge about detecting areas with invasion potential.

Taking advantage of climate match index to predict the potential invasion of wild barley grass weed in Iran and other world regions under current climate and different climate change scenarios are the objectives of current research. Identifying suitable environmental areas for invasive species provides an opportunity to prevent or slow down the invasion process

Materials and methods

Based on the presence intensity index of weeds, the climate of infestation hotspots in the Lorestan province, including Khorramabad (Aymanabad and Rimmelleh region), Dorud, Kuhdasht and Aleshtar, were defined as the favorable climate for wild barley. Wild barley-infected foci climate in Lorestan province was considered as a desirable climate for this weed. Climatic similarity of different regions of the world with the intended zone was evaluated as a criterion of invasion susceptibility of those regions in the current conditions and under climate change scenarios by using Climex model.

Results and discussion

Results showed that Kermanshah, Tehran, Hamedan, Kurdistan, Markazi, Qazvin and Chaharmahal and Bakhtiari with composite match Index greater than 0.81 in compare to infected area in Lorestan, were the most prone province of Iran for wild barley weed establishment. Under climate change scenarios, Zanjan, Hamedan, Ardebil, West Azarbaijan, East Azarbaijan, Kurdistan, Chharmhal and bakhtyary, and Markazi climate conditions will be more favorable in comparison with the current situation for establishment of wild barley weed, and the climate conditions in other provinces will be less favorable. Under climate change scenarios condition, the climate conditions of Lorestan will be 8.5% unfavorable to establish wild barley. Islamabad gharb, Borujerd, Ivan, Tuyserkan, Kangavar, peers, Kermanshah, Kamyaran, Ardal, Silakhor, Sararood, Sanandaj, Shamiran Tehran, Rawansar, Rvmshkan, Skinheads, Ilam, Farsan, Tazehabad, Nourabad Delfan, Mahabad, Azna, Songhor, Harsin, Sisakht, Khorramabad, Sepidan, Zarghan, Moalem Kalayeh, Sarableh, Bukan, Qazvin, Shahin Dez, Bane, Bilasuvar, Shazand, Takhte jamshid, Arak, Khomeini, Hashtgerd, Saghez, Oshnavieh, Saman, Khondab, Shiraz, Shahr kord, and Malayer with a composite match index of greater than 0.9 were considered the most vulnerable regions against the wild barley invasion. In the current climate situation, Spain, United States of

1, 2, 3 and 4- PhD student in Weed Science, Associated Professor, Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, respectively.

(*- Corresponding author Email: ghambari@um.ac.ir)

America, Algeria, Greece, Syria, Turkey, Italy, Australia, Uzbekistan, Tunisia, Pakistan, Iraq, Morocco, Chile, Afghanistan, Bulgaria, Macedonia, Portugal, Argentina, Turkmenistan, Libya, Romania, Jordan, South Africa, France, Armenia, Ukraine, Palestine and China have at least one region with composite match index greater than 0.8 for wild barley weed infested region in Lorestan province. Climate conditions of North Korea, Switzerland, South Korea, Hungary, Austria, Bosnia and Herzegovina, Mongolia, Luxembourg, Czech Republic, Germany, Canada, Poland, Romania, Yugoslavia, South Georgia, Belgium, Russia, Bulgaria, Netherlands, Ukraine, Sweden, Kazakhstan, Finland, Belarus, England, Norway, France, Denmark and Ireland become 10-30% more vulnerable to wild barley invasion, according to the UK scenario for the year 2080, climate change in compared with current weather condition.

Conclusions

Europe was the most talented continent for invasion of wild barley, and South America and the Africa continents in the current and future climates respectively had the minimum risk for establishment of wild barley.

Keywords: Climex Model, Composite Match Index, Weed Distribution