

پیش‌یابی اثر گرمایش جهانی در قلمروهای زیستی (مطالعه موردی: نیمه شرقی زاگرس میانی و غرب بیابان مرکزی ایران)

فرامرزی خوش‌اخلاق^{۱*}، محمدامین مرادی‌مقدم^۲، محمدامین حیدری^۳، شیرین صفایی^۴

۱. استادیار جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

moradi.m.a@ut.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

heydaryamin@yahoo.com

۳. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

shirinsafae67@ut.ac.ir

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۲۳

تاریخ وصول مقاله: ۹۳/۵/۲۸

چکیده

امروزه تغییر اقلیم از شایع‌ترین مباحث علمی و حتی سیاسی-اجتماعی است. گرمایش جهانی علاوه بر افزایش متوسط دمای جهانی به تغییر در میزان، نوع و الگوی توزیع مکانی و زمانی بارش منجر می‌شود و خواهد شد. تغییر در مؤلفه‌های رطوبتی و حرارتی به‌منزله ورودی‌های دستگاه نظام‌مند طبیعت در محیط‌های جغرافیایی مختلف، به این معنی است که باید منتظر عواقب وخیم دستکاری‌های انسان در سامانه طبیعت بود. یکی از آثار تغییر این مؤلفه‌ها، متأثر شدن انواع زیست‌سامانه‌ها، جابه‌جایی مرز قلمروهای حیاتی و زیستگاه‌های مختلف و اختلال در تعادل‌های موجود خواهد بود. در این پژوهش به مطالعه اثر گرمایش جهانی در قلمروهای زیستی محدوده نیمه شرقی زاگرس میانی و غرب بیابان مرکزی ایران در سال‌های ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ بر اساس تعریف قلمرو زیستی هولدریج پرداخته شده است. برای پیش‌بینی تغییرات دما و بارش از دو سناریوی پرکاربرد A2 و B2 و چهار مدل گردش عمومی جو شامل UKHADCM3، ECHO-G، GISS-EH و GFDL20 بهره گرفته شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد گرمایش جهانی سبب کاهش تنوع قلمروهای زیستی این محدوده در دهه‌های آتی خواهد شد. در این میان قلمروهای زیستی در مناطق کوهستانی بیشترین تأثیر را از گرمایش جهانی می‌پذیرند. همچنین به واسطه تشدید فرایندهای بیابان‌زا، پیشروی مرز مناطق بیابانی و بیابان‌های بوت‌زار به سمت دامنه‌های شرقی زاگرس قابل توجه خواهد بود.

کلیدواژه

روش هولدریج، غرب بیابان مرکزی، قلمروهای زیستی، گرمایش جهانی، نیمه شرقی زاگرس میانی.

۱. سرآغاز

انسانی نیز که در دهه‌های اخیر شکل و شتاب گرفته‌اند ناشی از فعالیت‌های انسانی (صنعتی، کشاورزی، تغییر کاربری اراضی و ...) و در رأس آن انتشار گازهای گلخانه‌ای‌اند. انتشار گازهای گلخانه‌ای با حجم زیاد در گستره وسیع، بیلان انرژی و به تبع آن متوسط دمای کره زمین را تحت تأثیر قرار داده و به گرم شدن هوا با سرعت زیاد در دهه‌های اخیر منجر شده است. از طرفی افزایش

امروزه تغییر اقلیم از شایع‌ترین مباحث علمی و حتی سیاسی-اجتماعی است. علل و عوامل تغییر اقلیم را می‌توان به علل طبیعی و انسانی نسبت داد. علل طبیعی عملکردی بلندمدت و سابقه‌ای دیرینه از قبیل چرخه فعالیت‌های خورشیدی، فوران‌های آتشفشانی، عوامل ژئودتیک و استاتیک و ... دارند (عزیزی، ۱۳۸۳). عوامل

ویژگی‌های آن‌ها در سطح جهان است، به طوری که اکثر تقسیم‌بندی‌های اقلیمی در گذشته بر اساس نوع پوشش گیاهی صورت گرفته است (Katharine, 1990).

هرگونه تغییر در مؤلفه‌های اقلیم، متأثر شدن انواع زیست‌سامانه‌ها، جابه‌جایی مرز قلمروهای حیاتی و بیوم‌های مختلف و اختلال در تعادل‌های موجود زیستی را همراه خواهد داشت. مطالعات زیادی در سطح دنیا در زمینه آثار احتمالی تغییر اقلیم بر انواع زیست‌سامانه‌ها (اکوسیستم‌ها) انجام شده است.

بر اساس پژوهش‌های Bartlin و Overpeck در سال ۱۹۸۹ با استفاده از مدل‌های GFDL^۳، GISS^۴ و OSU^۵ تحت شرایط دوبرابر شدن CO₂ حد شمالی رویش کاج صدها کیلومتر به سمت شمال جابه‌جا خواهد شد. همچنین آن‌ها نشان دادند که پهنه رویشی گونه کاج و صنوبر در شرق ایالات متحده محدود و منطقه رویش بلوط در شمال دریاچه‌های بزرگ و منطقه نیوانگلند گسترش زیادی خواهد یافت. همچنین، مرز رویشی صنوبر و بلوط بیش از ۵۰۰ کیلومتر به سمت شمال پیشروی خواهد کرد. Turpie و همکاران در سال ۲۰۰۲ با مطالعه اثر گرمایش جهانی و به کارگیری سناریوی HADCM2^۶ برای آفریقای جنوبی در سال ۲۰۵۰ نشان دادند که تولیدات بیومس این کشور بین ۳۸ تا ۵۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین آن‌ها نشان دادند که مناطق ساوان که بیشترین سطح پوششی این کشور را تشکیل می‌دهند، ۲۸ درصد کاهش می‌یابند و جنگل‌های محدود این کشور به طور کلی از بین خواهند رفت. امانوئل برای بررسی اثر گرمایش جهانی در زیست‌سامانه‌های خشکی از مدل قلمرو حیاتی هولدریج استفاده کرد. طبق یافته‌های امانوئل تحت شرایط دو برابر شدن CO₂ سطح جنگل‌های جهان از ۵۸/۳ به ۵۳/۹ درصد کاهش خواهد یافت. مساحت پوشش علف‌زار از ۱۷/۶ به ۲۱/۶ درصد افزایش و پهنه بیابان از ۲۰/۶ به ۲۱/۵ درصد و توندرا از ۳/۵ به ۳ درصد تغییر خواهد یافت. همچنین،

متوسط دمای جهانی به تغییر در میزان، نوع و الگوی توزیع مکانی و زمانی بارش منجر شده (Abbaspour, et al., 2009; Dastorani, et al., 2011) و پیامدهای مختلفی را به ارمغان آورده است. تغییر در مؤلفه‌های رطوبتی و حرارتی به‌منزله ورودی‌های دستگاه سامان‌مند طبیعت در محیط‌های جغرافیایی مختلف با شدت و ضعف‌های گوناگون، به این معنی است که انسان امروزی باید تحت شرایط فعلی که آن را می‌توان دوره تغییرات سریع نامید، منتظر عواقب وخیم دستکاری‌های خود در نظام طبیعت باشد (شائمی و حبیبی نونخندان، ۱۳۸۸).

تغییرات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای به علل مختلف به ویژه ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های صنعتی بسیار سریع است، به گونه‌ای که تغییرات دمای کنونی در یک دهه معادل قرن‌ها تغییر ناشی از عوامل طبیعی بوده است. بر اساس دستاوردهای ارائه‌شده از سوی محققان و مؤسسات تحقیقاتی ذی‌ربط مانند کمیته بین‌الدولی تغییر اقلیم^۱، سناریوهای خوشبینانه، بدبینانه و حد واسط بر مبنای تولید گازهای گلخانه‌ای و در رأس آن‌ها CO₂ ارائه شده است و به دنبال آن مدل‌های گردش عمومی جو^۲ - که بر مبنای دو برابر شدن حجم CO₂ در جو هستند - وضع شده‌اند. مدل‌های مولد اقلیمی به منظور پیش‌بینی روند تغییرات بارش و دما در سطوح منطقه‌ای و ناحیه‌ای طراحی شده‌اند (شائمی و حبیبی نونخندان، ۱۳۸۸).

علاقه دولت‌ها و سیاست‌گذاران به مطالعات اقلیمی اغلب به پدیده‌ها و آثار کوتاه‌مدت آن معطوف است. برای مثال، پدیده‌هایی مثل خشکسالی، سیلاب‌ها، یخبندان و غیره بیشتر مدنظر است، اما تغییرات اقلیمی درازمدت مانند آثار گرمایشی افزایش CO₂ و سایر گازهای گلخانه‌ای کمتر مدنظر دولت‌هاست. علت این امر به ظهور نیافتن سریع پیامدهای این نوع تغییرات در کوتاه‌مدت و غیرمحسوس بودن آن برمی‌گردد.

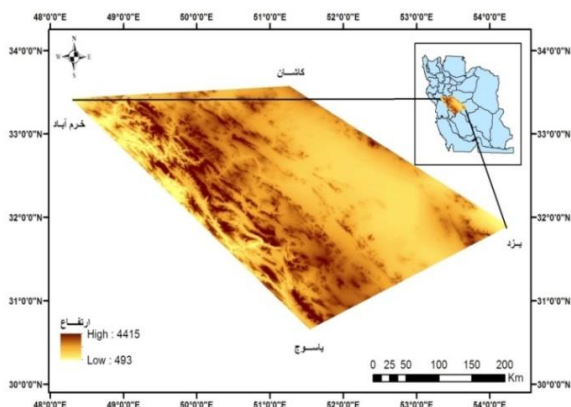
اقلیم مهم‌ترین عامل تعیین و توزیع گیاهان و

خوش‌بینانه از سوی کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم معرفی شده‌اند و چهار مدل گردش عمومی جو شامل GFDL، GISS-EH، ECHO-G، UKHADCM3 و CM20¹¹ در یک محدوده که بخش‌هایی از بیابان مرکزی ایران و شرقی زاگرس مرکزی را دربر می‌گیرد، بهره گرفته شد. برای تعیین قلمروهای زیستی از مدل زیستی هولدریج استفاده شد.

۲. مواد و روش بررسی

۲.۱. محدوده پژوهش

منطقه مورد مطالعه شامل یک چهارگوش غیرمنتظم محدود بین شهرهای خرم‌آباد با مختصات جغرافیایی (۴۸/۱۷) شرقی، (۳۳/۲۶ شمالی)، کاشان (۵۱/۲۷) شرقی، (۳۳/۵۹ شمالی)، یزد (۵۴/۱۷) شرقی، (۳۱/۵۴) شمالی و یاسوج (۵۱/۴۱) شرقی، (۳۰/۵۰) شمالی است. علت انتخاب این محدوده، دامنه دما و بارش نسبتاً زیاد و وجود قلمروهای زیستی متنوع در آن است تا بتوان تأثیرپذیری احتمالی قلمروهای مختلف زیستی را از گرمایش جهانی بررسی کرد. شکل ۱ موقعیت محدوده پژوهش را نشان می‌دهد.



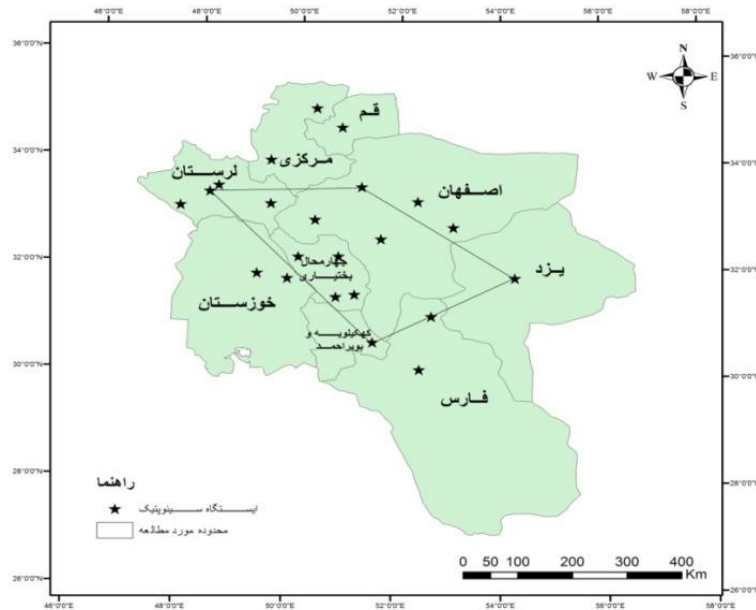
شکل ۱. موقعیت محدوده پژوهش

۲.۲. ایستگاه‌های همدید منتخب در منطقه پژوهش

در شکل ۲ پراکندگی جغرافیایی ۲۲ ایستگاه منتخب نشان داده شده است. به دلیل نبود ایستگاه‌هایی با دوره آماری کافی در منطقه پژوهش، از ایستگاه‌های مناطق مجاور نیز استفاده شده است.

مساحت جنگل‌های حاره‌ای از ۲۵ به ۳۵ درصد و سطح جنگل‌های جنب حاره‌ای از ۱۶ به ۱۳ درصد کاهش خواهد یافت و جنگل‌های معتدله گرم در حد ۲۱ درصد ثابت باقی خواهند ماند. مساحت جنگل‌های معتدل سرد از ۱۵ به ۱۶ درصد افزایش و جنگل‌های بورآل از ۲۳ به ۱۵ درصد کاهش خواهد یافت. جنگل‌های مرطوب بورآل با استپ معتدل سرد جایگزین یا به پوشش جنگلی معتدل سرد و بوته زارهای خشک بورآل محدود خواهد شد (Gates, 1993). Flower و همکاران (۲۰۱۳) در خصوص تأثیر گرمایش جهانی در انواع درختان کاج و دوگلاس^۷ در محدوده جنگل‌های ایالت بریتیش کلمبیا به تحقیق پرداختند. آن‌ها از ۹ مدل اقلیمی و سه سناریوی A2، A1B و B1 استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در همه مدل‌ها جابه‌جایی سریع هم از لحاظ ارتفاعی و هم عرض جغرافیایی در محدوده رویش این درختان صورت می‌پذیرد.

Sirotenko در سال ۲۰۰۱ جابه‌جایی مرز زیست‌بوم‌های اصلی روسیه را در شرایط گرمایش جهانی برای سال ۲۰۳۰ میلادی بررسی کرد. نتایج او نشانگر تغییرات وسیع در مناطق طبیعی و قلمروهای پوشش گیاهی روسیه برای مثال کاهش وسیع مناطق توندرا و تایگاست. بر اساس بررسی شائمی (۱۳۸۶) که در خصوص آثار گرمایش جهانی در تغییر شرایط بیوکلیمایی ایران با استفاده از روش هولدریج و سناریوی GFDL انجام شد، زیست‌بوم‌های استپی معتدله سرد در نواحی کوهستانی کشور بیشترین حساسیت و در مقابل تپ‌های بیابانی ایران کمترین حساسیت را در برابر شرایط گرمایشی دارند. خرم‌دل و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود نشان دادند که گرمایش جهانی سبب کاهش تنوع زیستی در ایران شده است. در این پژوهش برای ارزیابی تأثیرپذیری قلمروهای مختلف زیستی از گرمایش جهانی از دو سناریوی پرکاربرد A2 و B2 که در واقع به‌منزله سناریوهای بدبینانه و

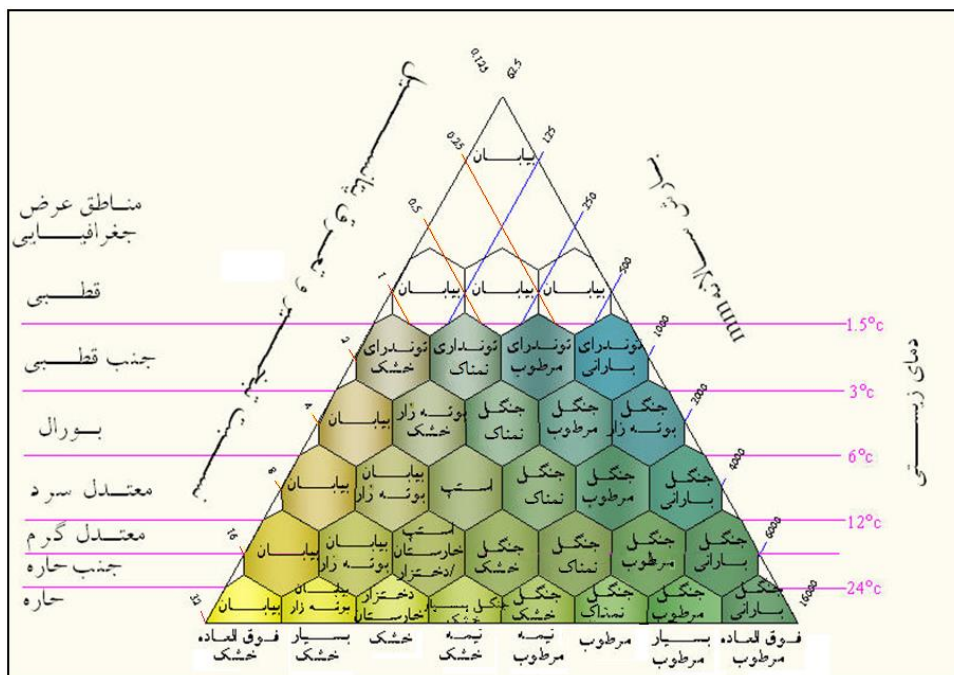


شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های همدید منتخب

سالانه، نموداری را ارائه کرده است که در آن قلمروهای زیستی به ۱۶ گونه متنوع تقسیم می‌شوند (شکل ۳).

۳. روش‌ها

در این پژوهش برای تعیین قلمروهای زیستی از مدل زیستی هولدریج بهره گرفته شد. هولدریج با استفاده سه فراسنج اقلیمی بارش سالانه، دمای زیستی و نسبت تبخیر و تعرق



شکل ۳. قلمروهای زیستی (هولدریج، ۱۹۸۴)

سناریوی B2 جهانی را توصیف می‌کند که بیشترین تأکید را بر راهکارهای منطقه‌ای و محلی در زمینه پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست دارد. این سناریو همراه رشد پیوسته جمعیت و توسعه اقتصادی متوسط و تغییرات مختلف تکنولوژیکی است. طبق این سناریو دمای متوسط کره زمین تا سال ۲۱۰۰ بین ۱/۵ تا ۳/۱ افزایش می‌یابد (IPCC-TGICA, 2007).

همچنین، چهار مدل گردش عمومی جو شامل: GFDLCM20 و GISS-EH, ECHO-G, UKHADCM3 استفاده شدند که پرکاربردترین مدل‌های استفاده شده در ایران برای پیش‌بینی‌های اقلیمی‌اند و در موارد متعددی نیز از آن‌ها استفاده شده است (Dastorani, et al., 2011; روشن و همکاران، ۱۳۹۰؛ نجفی، ۱۳۹۱). از طرفی داده‌های شبیه‌سازی شده از طریق این مدل‌ها برای ایران و داده‌های مشاهده شده از همبستگی بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردارند (روشن، ۱۳۹۰).

برای انتخاب مدل مناسب برای پیش‌یابی دما و بارش منطقه پژوهش تحت گرمایش جهانی از مدل MAGICC SCENGEN^۱ استفاده شد. این مدل ترکیبی و مدلی برای ارزیابی تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در واقع MAGICC SCENGEN یک مدل GCM نیست، اما از نتایج این مدل‌ها استفاده می‌کند تا رفتار آن‌ها را برای تمام جهان یا منطقه مورد نظر مدل‌سازی کند (Kont, 2003). به عبارت دیگر، این مدل به ترکیب نتایج سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای که در مدل MAGICC تعریف شده است و نتایج GCM تعریف شده در مدل SCENGEN می‌پردازد تا تأثیر این سناریوها و مدل‌ها را در مناطق مختلف جهان بسنجد (Wigley, 1995). بنابراین، قاعده کلی مدل MAGICC SCENGEN بر این اصل استوار است که امکان شناخت نتایج دامنه گسترده از سناریوهای انتشار را برای استفاده‌کننده فراهم کند. به طور کلی مدل MAGICC SCENGEN این امکان را می‌دهد تا بتوان تغییرات دمای متوسط جهانی و سطح

دمای زیستی میانگین دمایی است که در آن رشد گیاهان امکان پذیر است. در یک دوره سالانه، دامنه دمایی که در آن رشد گیاهان صورت می‌گیرد بین صفر و ۳۰ درجه سلسیوس است. این مقدار باید میانگین تمام دوره‌هایی باشد که این امکان وجود دارد. دمای زیستی دقیق با جمع تمام دمای زیستی روزانه و تقسیم مجموع آن بر ۳۶۵ روز سال به دست می‌آید (Holdridge, 1984).

همچنین، برای محاسبه دمای زیستی بر اساس داده‌های ماهانه می‌توان با دادن مقدار صفر به ماه‌هایی که دمای میانگین ماهانه آن‌ها منفی یا بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس است و تقسیم مجموع آن‌ها بر عدد ۱۲ (تعداد ماه‌های سال) دمای زیستی را محاسبه کرد. دیگر اضلاع مثلث نمودار هولدریج نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش سالانه است. برای تعیین وضعیت قلمرو زیستی هولدریج داشتن این فراسنج‌ها کافی است (Holdridge, 1984).

همان گونه که بیان شد سناریوهای تغییر اقلیم به سه دسته بدبینانه، خوش بینانه و متوسط تقسیم می‌شوند که برای هر منطقه یا کشوری با توجه به شرایط اقتصادی، زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و ... باید سناریویی که همخوانی بیشتری دارد انتخاب شود. ایران با سهم ۱/۶۹ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن در سطح جهان در جایگاه ۱۰ کشور نخست دنیا قرار دارد (روشن و نجفی، ۱۳۹۱).

در این پژوهش از دو سناریوی پرکاربرد A2 و B2 که در واقع به منزله سناریوهای بدبینانه و خوش بینانه انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی کمیته بین‌الدولی تغییر اقلیم ارائه شده‌اند استفاده شد. سناریوی A2 بر هویت محلی و حفظ آن‌ها تأکید دارد که در نتیجه به افزایش جمعیت منتهی می‌شود. رشد اقتصادی و فناوری در این سناریو نسبت به سایر سناریوها کندتر و ناقص‌تر است. در نتیجه این سناریو بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را پیش‌بینی می‌کند. طبق این سناریو دمای متوسط کره زمین تا سال ۲۱۰۰ بین ۲/۱ تا ۴/۲ افزایش می‌یابد، در حالی که

سناریوهای خوش‌بینانه، بدبینانه، حد متوسط و زیرمجموعه‌های آن‌ها، همچنین ۲۰ مدل گردش عمومی جو گنجانده شده است. با توجه به توان تفکیک ۲/۵X۲/۵ درجه مدل پیش گفته، منطقه پژوهش به شش زون (پهنه) فرعی بر اساس تفکیک مدل تقسیم و ایستگاه‌های واقع شده در هر زون تعیین شد (جدول ۱).

آب دریاها و تغییرات بارش را با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای و با در نظر گرفتن پس‌خورها و حساسیت‌های اقلیمی تعیین کرد. این مدل ترکیبی شامل نرم افزاری است که هر دو مدل SCENGEN و MAGICC در آن ادغام شده‌اند. در نسخه ۵/۳ این مدل، ۴۹ سناریوی انتشار شامل انواع

جدول ۱. موقعیت و ابعاد محدوده پژوهش بر اساس تفکیک مدل MAGICC SCENGEN و ایستگاه‌های آن

ایستگاه‌های واقع شده در هر پهنه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	پهنه
اراک، خرم‌آباد، بروجرد، الیگودرز، پل‌دختر	۵۰-۴۷/۵E	۳۵-۳۲/۵N	۱
اصفهان، اردستان، قم، کاشان، ساوه، داران	۵۲/۵-۵۰E	۳۵-۳۲/۵N	۲
نابین	۵۵-۵۲/۵E	۳۵-۳۲/۵N	۳
یزد، آباده	۵۵-۵۲/۵E	۳۲/۵-۳۰N	۴
شهرکرد، کوهرنگ، یاسوج، سدردوزن، لردگان، بروجن	۵۲/۵۰۵E	۳۲/۵-۳۰N	۵
مسجد سلیمان، ایذه	۵۰-۴۷/۵E	۳۲/۵-۳۰N	۶

۴. بحث و نتایج

۴.۱. پهنه بندی قلمروهای زیستی محدوده پژوهش

در دوره کنونی و سال‌های ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰

برای تعیین و پهنه بندی قلمروهای زیستی محدوده پژوهش از مدل هولدریج بهره گرفته شد. همان‌طور که گفته شد در این نمودار، برای تعیین وضعیت زیستی، به حداقل دو فراسنج اقلیمی نیاز است. لذا برای تعیین وضعیت زیستی محدوده پژوهش، از دو فراسنج دمای زیستی و بارش سالانه استفاده شد. بنابراین، ابتدا دمای زیستی و بارش سالانه محدوده پژوهش پهنه بندی شد. برای پهنه بندی دمای زیستی ابتدا با استفاده از تعریف دمای زیستی هولدریج، اقدام به محاسبه دمای زیستی برای ۲۲ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه برای میانگین دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۰۰ و سال‌های ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ شد. شایان یادآوری است که برای محاسبه دمای زیستی ایستگاه‌ها در سال‌های آینده مذکور، پیش‌بینی دمای ماهانه این سال‌ها از طریق سناریوهای A2 و B2 و چهار مدل گردش عمومی جو از طریق مدل MAGICC SCENGEN انجام شد و محاسبه

سپس با انتخاب سناریوها و مدل‌های پیش گفته، بارش سالانه و دماهای ماهانه این زون‌ها برای سال‌های ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ محاسبه و این تغییرات به ایستگاه‌های واقع شده در هر زون تعمیم داده شد و برای هر کدام از ایستگاه‌ها به تفکیک دمای ماهانه و بارش سالانه برای سال‌های پیش‌بینی محاسبه شد.

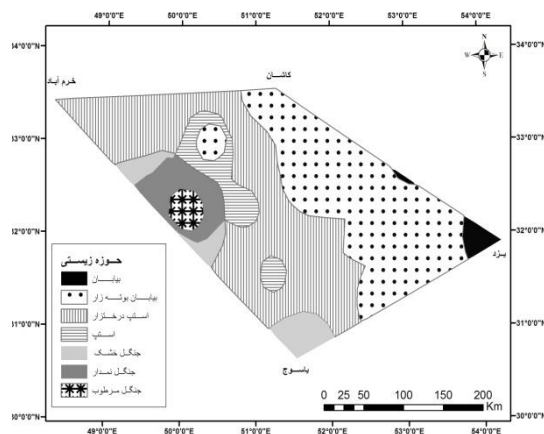
نکته‌ای که باید هنگام تنظیمات مدل MAGICC SCENGEN مورد توجه قرار داد این است که وجود گرد و غبار و افزایش آن در غرب ایران که عمدتاً منشأ آن عراق، سوریه و عربستان است، رو به افزایش است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱) و محدوده پژوهش نیز بخش‌هایی از مناطق غربی کشور ایران را دربر می‌گیرد که بیشترین تأثیر را از گرد و غبار وارد شده به ایران از سمت غرب می‌پذیرد و مناطق شرقی محدوده پژوهش شامل کویرهای مرکزی ایران است که خود منشأ گرد و غبار است (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). اعمال شرایط وجود هواویزها هنگام تنظیمات که در مدل MAGICC SCENGEN گنجانده شده، لازم و ضروری است.

شرایط رشد محدودی از گیاهان و بوته‌های خاردار وجود دارد که در طبقه‌بندی هولدریج جزو قلمرو زیستی بیابان‌های بوته‌زار^{۱۵} قرار می‌گیرد. در دامنه‌های زاگرس از میزان شدت خشکی کاسته می‌شود که این وضعیت به دلیل افزایش نسبی بارش و کاهش دمای هواست، به طوری که ارتفاعات میانی قسمت شرقی کوهستان زاگرس در طبقه‌بندی هولدریج جزو استپ^{۱۶} و استپ درخت‌زار^{۱۷} است و بیشترین مساحت محدوده پژوهش با ۴۱۷۹۸ کیلومتر مربع به این دو پهنه اختصاص دارد. این در حالی است که در ارتفاعات بالای زاگرس در اطراف کوه‌رنگ و شهرکرد به علت فراوانی بارش شرایط برای رشد درختان تحت شرایط قلمرو زیستی جنگل‌های مرطوب^{۱۸} و نمناک^{۱۹} وجود دارد. شایان یادآوری است باران فراوان با میانگین سالانه بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر مناطق مرتفع کوهستان زاگرس در اطراف کوه‌رنگ شرایط برای ایجاد قلمرو زیستی جنگل‌های مرطوب را به وجود آورده است. ارتفاعات پایین تر با وجود دمای زیستی سالانه تقریباً برابر، به دلیل بارش میانگین سالانه کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر در طبقه‌بندی هولدریج جزء قلمرو زیستی جنگل‌های نمناک محسوب می‌شوند. جدول ۲ مساحت هر کدام از قلمروهای زیستی محدوده پژوهش را در عصر حاضر نشان می‌دهد.

دمای زیستی ایستگاه‌ها طبق این پیش‌بینی‌ها صورت گرفت. سپس با استفاده از روش IDW در سامانه اطلاعات جغرافیایی پهنه بندی دمای زیستی محدوده پژوهش برای این سال‌ها انجام شد. همچنین، پهنه بندی بارش سالانه محدوده پژوهش برای دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۰۰ و سال‌های آینده مذکور انجام شد. پیش‌بینی بارش ایستگاه‌ها به صورت سالانه و تحت سناریوها و مدل‌های گردش عمومی جو و پهنه بندی بارش محدوده پژوهش نیز با استفاده از روش IDW^{۱۳} در سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد.

با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و دو پهنه بندی انجام شده بارش و دمای زیستی محدوده پژوهش و با استفاده از ابزار UNION در این سامانه و محدوده‌های تعریف شده در نمودارهای زیستی هولدریج، پهنه بندی قلمروهای زیستی محدوده پژوهش برای دوره کنونی و سال‌های پیش‌یابی یادشده صورت گرفت. شکل ۴ پهنه بندی قلمروهای زیستی محدوده پژوهش را برای دوره کنونی (۱۹۸۰-۲۰۰۰) نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴ بخش شرقی محدوده پژوهش به مساحت ۱۴۳۰ کیلومتر مربع که قسمت‌هایی از بیابان مرکزی ایران را شامل می‌شود در تقسیم بندی هولدریج جزو مناطق بیابانی^{۱۴} است. در حاشیه غربی بیابان مرکزی ایران تا حدودی از شدت بیابانی بودن کاسته شده است و



شکل ۴. پهنه‌بندی قلمروهای زیستی محدوده پژوهش در دوره کنونی

سال‌ها با استفاده از روش IDW در سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد. سپس با استفاده از پهنه‌بندی‌های صورت گرفته، در سامانه اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی قلمروهای زیستی محدوده پژوهش انجام شد. جداول ۳، ۴ و ۵ مساحت قلمروهای زیستی مختلف منطقه پژوهش را بر اساس دو سناریوی A2 و B2 و چهار مدل گردش عمومی را برای سال‌های ۲۰۷۵، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ نشان می‌دهد.

برای پهنه‌بندی قلمروهای زیستی سال‌های آتی، ابتدا با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی دما و بارش به محاسبه دمای ماهانه و بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه اقدام شد. با استفاده از دماهای ماهانه و بارش سالانه پیش‌یابی شده بر اساس سناریوهای A2 و B2 و چهار مدل گردش عمومی جو، پهنه‌بندی دمای زیستی منطقه پژوهش برای سال‌های ۲۰۷۵، ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ و پهنه‌بندی بارش پیش‌بینی شده این

جدول ۲. مساحت قلمروهای زیستی مختلف محدوده پژوهش به کیلومتر مربع در دوره (۱۹۸۰-۲۰۰۰)

قلمرو زیستی	بیابان	بیابان بوته‌زار	استپ درخت‌زار	استپ	جنگل خشک	جنگل نمناک	جنگل مرطوب
مساحت قلمرو	۱۴۳۰	۳۳۰۹۶	۳۵۶۹۰	۶۱۰۸	۵۲۶۳	۵۳۵۷	۱۷۳۲

جدول ۳. مساحت قلمروهای زیستی مختلف در منطقه پژوهش به کیلومتر مربع در سال ۲۰۵۰ تحت دو سناریوی A2 (الف) و B2 (ب) و چهار مدل گردش عمومی جو

(الف)							
مدل گردش عمومی جو	بیابان	بیابان بوته‌زار	استپ درخت‌زار	استپ	جنگل خشک	جنگل نمناک	جنگل مرطوب
UKHADCM3	۷۰۶۸	۶۴۳۰۱	۲۶۵۸۰	۰	۷۱۴۶	۱۵۷۷	۰
ECHO-G	۳۷۱۸	۳۹۰۵۷	۳۴۱۴۴	۲۱۸۸	۸۲۸۰	۱۲۳۷	۰
GISS-EH	۲۰۳۶۰	۴۱۸۳۸	۲۲۰۳۵	۰	۴۱۱۳	۰	۰
GFDLGM20	۵۰۹۶	۴۱۴۴۷	۳۳۳۸۶	۰	۷۹۱۲	۷۹۰	۰

(ب)							
مدل گردش عمومی جو	بیابان	بیابان بوته‌زار	استپ درخت‌زار	استپ	جنگل خشک	جنگل نمناک	جنگل مرطوب
UKHADCM3	۴۷۹۵	۴۳۶۷۰	۳۲۳۵۱	۰	۷۰۲۴	۸۰۹	۰
ECHO-G	۲۵۴۰	۳۸۶۱۶	۳۶۸۱۴	۰	۸۴۲۷	۱۲۷۶	۰
GISS-EH	۱۷۸۹۷	۴۳۶۲۷	۲۲۵۹۸	۰	۴۴۲۴	۰	۰
GFDLGM20	۴۶۷۶	۴۱۰۹۶	۳۳۹۲۰	۰	۸۱۲۵	۸۶۳	۰

جدول ۴. مساحت قلمروهای زیستی مختلف منطقه پژوهش به کیلومتر مربع در سال ۲۰۷۵ تحت دو سناریوی A2 (الف) و B2 (ب) و چهار مدل گردش عمومی جو

(الف)							
مدل گردش عمومی جو	بیابان	بیابان بوته‌زار	استپ درخت‌زار	استپ	جنگل خشک	جنگل نمناک	جنگل مرطوب
UKHADCM3	۱۱۸۱۱	۴۷۴۹۱	۲۲۰۹۲	۲۰۴۲	۵۱۸۴	۰	۰
ECHO-G	۸۱۴۸	۳۹۱۴۳	۳۲۹۶۸	۶۳	۷۳۶۷	۹۱۲	۰
GISS-EH	۴۳۳۲۸	۳۶۱۱۲	۸۳۴۹	۱۲	۹۱۴	۰	۰
GFDLGM20	۱۲۰۷۰	۴۱۸۶۶	۲۷۷۶۰	۶۳	۶۶۴۶	۲۲۵	۰

(ب)

مدل گردش عمومی جو	بیابان	بیابان بوته‌زار	استپ درخت‌زار	استپ	جنگل خشک	جنگل نمناک	جنگل مرطوب
UKHADCM3	۱۱۴۶۸	۴۶۷۶۷	۲۴۹۰۲	۰	۵۵۱۳	۵۱۳	۰
ECHO-G	۸۲۲۱	۳۸۹۸۶	۳۳۰۹۳	۰	۷۴۵۴	۹۰۴	۰
GISS-EH	۳۷۵۹۰	۳۷۳۴۲	۱۲۳۲۷	۰	۱۴۲۴	۰	۰
GFDLCM20	۱۱۸۳۴	۴۱۴۸۶	۲۸۱۷۴	۰	۶۸۴۱	۲۸۳	۰

جدول ۵. مساحت قلمروهای زیستی مختلف منطقه پژوهش به کیلومتر مربع در سال ۲۱۰۰ تحت دو سناریوی A2 (الف) و B2 (ب) و چهار مدل گردش عمومی جو

(الف)

مدل گردش عمومی جو	بیابان	بیابان بوته‌زار	استپ درخت‌زار	استپ	جنگل خشک	جنگل نمناک	جنگل مرطوب
UKHADCM3	۳۳۱۴۳	۳۸۲۷۷	۱۱۹۹۵	۳۳۱۹	۱۹۴۵	۰	۰
ECHO-G	۲۴۵۷۳	۴۰۹۸۰	۱۵۸۶۶	۱۹۶۳	۴۸۵۵	۴۲۹	۰
GISS-EH	۳۲۴۴۳	۵۶۲۰۱	۰	۰	۰	۰	۰
GFDLCM20	۲۹۱۷۳	۳۴۲۱۱	۱۸۲۹۱	۲۸۶۱	۴۱۴۸	۰	۰

(ب)

مدل گردش عمومی جو	بیابان	بیابان بوته‌زار	استپ درخت‌زار	استپ	جنگل خشک	جنگل نمناک	جنگل مرطوب
UKHADCM3	۲۵۳۴۵	۳۸۷۵۶	۱۵۹۸۸	۵۰۳۸	۳۵۱۷	۰	۰
ECHO-G	۱۵۳۵۸	۳۷۸۰۹	۲۸۰۳۵	۱۶۴	۶۵۶۷	۶۶۴	۰
GISS-EH	۶۴۰۸۵	۲۱۳۶۷	۳۲۲۰	۰	۰	۰	۰
GFDLCM20	۲۴۵۵۸	۳۵۱۹۱	۲۰۵۴۱	۲۳۵۱	۵۰۹۶	۳۸۸	۰

بوته‌زار به سمت شرق قابل توجه است، به طوری که قلمرو بیابان که در دوره کنونی مناطق اطراف یزد و نایین را دربر می‌گیرد و فقط ۱۴۳۰ کیلومتر مربع از منطقه پژوهش را پوشش می‌دهد، پیشروی قابل ملاحظه‌ای را به سمت شرق خواهد داشت و بخش قابل توجهی از شرق منطقه پژوهش را در سال‌های پیش‌یابی پوشش خواهد داد. کلیه مدل‌ها نشانگر پیشروی حدود ۹۰ تا ۱۱۰ کیلومتری به سمت شرق این محدوده تا سال ۲۱۰۰ است، به گونه‌ای که تقریباً ۳۰ هزار کیلومتر مربع از منطقه پژوهش را دربر خواهد گرفت. مرز قلمرو زیستی بیابان بوته‌زار نیز تقریباً به همین مقدار به سمت غرب جابه‌جا خواهد شد. مدل GISS-EH بیشترین پیشروی قلمرو بیابان و بیابان بوته‌زار را در بین سایر مدل‌ها نشان می‌دهد به طوری که بر اساس

با مقایسه جداول ۳، ۴ و ۵ با جدول ۲ کاهش تنوع قلمروهای زیستی در محدوده پژوهش در اثر گرمایش جهانی در کلیه مدل‌ها قابل مشاهده است، به طوری که ۷ قلمرو زیستی دوره کنونی به ۶ قلمرو در سال‌های پیش‌یابی کاهش خواهد یافت. در این میان دو قلمرو استپ و جنگل‌های مرطوب بیشترین تأثیر را از گرمایش جهانی خواهند گرفت و در سال‌های پیش‌یابی شده با کاهش قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو خواهند بود. قلمرو زیستی جنگل‌های مرطوب در سال‌های پیش‌یابی شده به طور کلی محو شده است و جای آن را جنگل‌های نمناک و خشک می‌گیرد. همچنین، ایجاد تغییرات و جابه‌جایی در مرزهای قلمرو زیستی منطقه پژوهش در اثر گرمایش جهانی قابل مشاهده است. پیشروی مرزهای قلمروهای زیستی بیابانی و بیابان

می‌پذیرد، به طوری که در بعد از سال ۲۰۵۰ به طور کلی از بین رفته و جای خود را به ترتیب به استپ درخت‌زار و جنگل‌های مرطوب می‌دهند. همچنین، جنگل‌های خشک جایگزین بخش‌هایی از جنگل‌های نمناک می‌شوند. پیشروی مرز قلمرو بیابان و بیابان بوته‌زار به سمت غرب و دامنه‌های شرقی کوهستان زاگرس قابل ملاحظه خواهد بود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد آنچه امروزه به‌منزله هشدار پدیده بیابان‌زایی و گسترش مرزهای بیابان گزارش می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۳۸۲؛ درویش، ۱۳۸۲؛ زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۴؛ جعفری و همکاران، ۱۳۸۵) در اثر گرمایش جهانی تشدید و تقویت خواهد شد.

یادداشت‌ها

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
2. General Circulation Model
3. Geophysical Fluid Dynamic laboratory
4. Goddard Institute for Space Study
5. Oregon State University
6. HADley Center gcM2
7. General Circulation Model
8. Douglas-fir
9. United Kingdom HADley Center gcM3
10. ECHO-G = ECHAM4 + HOPE-G , see: <http://www.ipcc-data.org/ar4/model-CONS-ECHO-G-change.html>
11. GISS-EH (Model E with the HYCOM ocean model)
12. Geophysical Fluid Dynamic laboratory- Climate Model 20
13. Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change (MAGICC), SCENario GENERator (SCENGEN)
14. Inverse Distance Weighted
15. Desert
16. Desert scrub
17. Steppe
18. Thorn steppe/Woodland
19. Moist forest
20. Wet Forest

این مدل و سناریوی بدبینانه A2 کلیه منطقه پژوهش، حتی ارتفاعات کوهستان زاگرس در دو قلمرو زیستی بیابان و بیابان بوته‌زار قرار می‌گیرد. طبق این مدل ارتفاعات زاگرس میانی را نیز قلمرو بیابان بوته‌زار دربر می‌گیرد. این در حالی است که مدل ECHO-G پیشروی قلمروهای زیستی بیابان و بیابان بوته‌زار منطقه پژوهش در سال‌های پیش‌یابی را کمتر از سایر مدل‌ها برآورد می‌کند. همچنین، طبق این مدل تأثیرپذیری قلمروهای زیستی واقع شده در نیمه شرقی کوهستان زاگرس میانی کمتر از سایر مدل‌هاست. در این بین دو مدل UKHADCM3 و GFDLCM20 حالت متوسطی از تأثیرپذیری قلمروهای زیستی محدوده پژوهش را نسبت به دو مدل دیگر نشان می‌دهند. در کلیه مدل‌ها میزان جابه‌جایی مرز قلمروهای زیستی در سناریوی خوش‌بینانه B2 کمتر از سناریوی بدبینانه A2 است.

نتایج این پژوهش نشان داد که قلمروهای زیستی واقع در کوهستان زاگرس تأثیر قابل ملاحظه‌ای را از گرمایش جهانی خواهند پذیرفت و قلمروهای زیستی آن شامل استپ، جنگل خشک، جنگل نمناک و جنگل‌های مرطوب با کاهش قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو خواهند شد.

۵. نتیجه‌گیری

علاقه دولت‌ها و سیاست‌گذاران به مطالعات اقلیمی اغلب معطوف به پدیده‌ها و آثار کوتاه‌مدت آن است؛ در حالی که یکی از آثار بلندمدت تغییر اقلیم، متأثرشدن انواع زیست‌سامانه‌ها، جابه‌جایی مرزهای زیستی و بیوم‌های مختلف و اختلال در تعادل‌های موجود زیستی است.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که گرمایش جهانی در محدوده پژوهش سبب کاهش تنوع قلمروهای زیستی می‌شود. قلمروهایی چون استپ، جنگل خشک، جنگل مرطوب و جنگل‌های نمناک با کاهش پهنه قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو خواهند شد. در این میان بیشترین تأثیر را از گرمایش جهانی، دو قلمرو استپ و جنگل‌های مرطوب

منابع

- جعفری، م.، پناهی، ف.، احمدی، ح.، عباسی، ح. ر.، موسوی، م.، زارع، م. ع.، طویلی، م. ۱۳۸۲. ارزیابی شاخص‌های معیار خاک جهت بررسی وضعیت بیابان‌زایی منطقه سلیمان، حسین‌آباد میش‌مست و گازران در استان قم، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۳(۳) (پیاپی ۲۴): صص ۲۷۸-۲۸۴.
- حسینی، س. م.، کرمی، س. ع.، خسروشاهی، م. ۱۳۸۲. توسعه روشی برای شناسایی و تفکیک مناطق بیابانی از دیدگاه اقلیم‌شناسی (مطالعه موردی: استان تهران)، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۱(۱) (پیاپی ۱۰): صص ۳۹-۵۵.
- خرم‌دل، س.، کوچکی، ع.، رضازاده، م. ۱۳۹۳. اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر تنوع زیستی، همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، تهران، شرکت علم و صنعت طلوع فرزین.
- درویش، م. ۱۳۸۲. مقدمه‌ای بر روش تدوین معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۰(۳) (پیاپی ۱۲): صص ۳۰۱-۳۲۰.
- روشن، غ.، اوجی، ر.، نجفی، م. س.، شاهکویی، ا. ۱۳۹۰. دورنمای تأثیر گرمایش جهانی بر تغییرات درجه-روز مورد نیاز گندم برای خوشه‌های آب و هوایی مختلف ایران، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال اول، شماره ۴، صص ۹۳-۱۰۸.
- روشن، غ. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی بر نیاز آبی گندم در ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی به راهنمایی فرامرز خوش‌اخلاق، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- روشن، غ.، نجفی، م. س. ۱۳۹۱. بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی‌های آینده کشور با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۶، صص ۸۷-۹۶.
- زهتابیان، غ.، احمدی، ح.، جوادی، م.، آذرنیوند، ح. ۱۳۸۴. ارزیابی کمی شدت بیابان‌زایی ناشی از تخریب منابع آب و ارائه یک مدل منطقه‌ای بیابان‌زایی در حوزه آبخیز ماهان، مجله بیابان، ۱۰، (۱)، صص ۱۸۹-۲۰۴.
- شائمی، ا.، حبیبی نوخندان، م. ۱۳۸۸. گرمایش جهانی، پیامدهای زیستی-اکولوژیکی، انتشارات ترجمان خرد، تهران.
- شائمی، ا. ۱۳۸۶. ارزیابی حساسیت مناطق بیوکلیمایی ایران به گرمایش جهانی با استفاده از مدل هولدریج، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۹۷-۱۱۵.
- طاووسی، ت.، خسروی، م.، رئیس‌پور، ک. ۱۳۸۹. تحلیل همدیدی سامانه‌های گرد و غبار در استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، صص ۹۷-۱۱۷.
- عزیزی، ق. ۱۳۸۳. تغییر اقلیم، انتشارات قومس، تهران.
- عزیزی، ق.، شمسی‌پور، ع.، میری، م.، صفرراد، ط. ۱۳۹۱. تحلیل آماری-همدیدی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران، مجله محیط‌شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۳، صص ۱۲۳-۱۳۴.
- عزیزی، ق.، میری، م.، نبوی، س. ا. ۱۳۹۰. ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره ۷، صص ۶۳-۸۱.
- نجفی، م. س. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی در رخدادهای بار بئولوژیک گرد و غبار در غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی به راهنمایی فرامرز خوش‌اخلاق، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

- Abbaspour, K., Faramarzi, C., Ghasemi, M., Yang, H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45, W10434.
- Dastorani, M. T., Massah Bavani, A. R., Poormohammadi, S., Rahimian, M. H. 2011. Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (Case study: Yazd station, Central Iran). *Desert*, 16, 159-167.
- Flower, A., T.Q, Murdock., S, W, Taylor., F, W, Zwiers. 2013. Using an ensemble of downscaled climate model projections to assess impacts of climate change on the potential distribution of spruce and douglas-fir forests in British columbia. *Environmental Science & policy*, 26. 63-74.
- Gates, D.M. and Murray, D. (1993). *Climate Change and its Biological Consequences*. Mass., Sinauer Associates: Sunderland.
- Holdridge, L.R. 1984. The Life Zone System, *Adansonia VI*: 2: 199-203.
- IPCC- TGICA, 2007, http://www.ipcc-data.org/guidelines/TGICA_guidance_sdciaa_v2_final.pdf.
- Katharine , C .P. 1990. Bioclimatic Distribution of Vegetation for General Circulation Model Studies. *Jornal of Geophysical Research*, vol. 95, no. D8, pp11811-11830, july 20, Columbia.
- Kont, A., Aunop, R. 2003. Climate change scenarios and the effect of sea-level rise for Estonia, *Global and Planetary Change*. 36:1-15.
- Overpeck, G. T ., Bartlin, P, J. 1989. Assessing response of vegetation to future climate change, *tripak*.
- Sirotenko, O. 2001. The Global greenhouse effect, *Agroecosystems and the future of agriculture*, WMO, CAGM, No 77 b.
- Sirotenko, O. 2001. Reviw and summary of methods used for the assessment of possible adaptation by farming systems and by the agricultural sector to climate change and climate variability, *WMO/CAGM report 87:81-111*.
- Turpie, J., Winker, H., Spalding-fecher, R., Midgley, G. 2002. Economic impact of climate change in south Africa: A Preliminary Analysis of Unmitigate Damage Costs. Cape Town University.
- Wigley, T.M.L. 1995. MAGICC and SCENGEN: Integrate models estimating regional climate change in response to anthropogenic emissions, *Studies in Environmental science*, 65: 93-94. www.ipcc.com.