



Geographic Notion
Vol 15. Autumn and winter 2017
Zanjan University
No.107

اندیشه جغرافیایی
سال هشتم، شماره پانزدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۵
دانشگاه زنجان
مقاله شماره ۱۰۷

پیش بینی تغییرات اقلیمی آذربایجان غربی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل HADCM3 و ارزیابی اثرات آن بر خشکسالی استان

زینب بیگلر^۱، مجید منتصری^۲، یدالله بلیانی^۳، اسماعیل جوکار^۴، علی بیات^۵

چکیده

در این تحقیق با بکارگیری نرم افزار LARS-WG و مدل HADCM3 طبق سه سناریوی B1 و A1B, A2 تأیید شده IPCC مقادیر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه استان آذربایجان غربی در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۱۱-۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در چهار ایستگاه سینوپتیک استان شامل ارومیه، خوی، مهاباد و ماکو که دارای داده‌های کامل و بدون نقص بوده، پیش‌بینی و تغییرات آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در استان آذربایجان غربی میزان بارندگی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ به غیر از سه ماه Mar, Agu, Dec در هر سه سناریو و ماه‌های Sep, Jul در سناریوهای B1 و A1B در بقیه ماه‌ها و نیز در دوره‌های بعدی روند کاهشی دارد. دمای کمینه و بیشینه در تمام دوره‌ها و نیز هر سه سناریو روند افزایشی دارد.

بررسی خشکسالی‌های استان نیز در سه دوره بر اساس شاخص دمارتن نشان می‌دهد که اقلیم منطقه در تمامی دوره‌ها و ایستگاه‌ها به استثنای ایستگاه ارومیه تحت سناریوی A2 و ایستگاه ماکو تحت هر سه سناریو در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ که اقلیم خشک دارد، به صورت نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که اقلیم منطقه در دوره‌های آتی تغییر خواهد یافت و بخش‌های مختلف مرتبط با این پدیده جهانی نیازمند برنامه‌ریزی‌های دقیق جهت مقابله با این تغییرات خواهند بود.

Email : zbeigli@yahoo.com

۱. کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۳. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران

۴. کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران اهواز

۵. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران



واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، آذربایجان غربی، مدل LARS-WG، مدل HADCM3، شاخص دمارتن.

مقدمه

فعالیت‌های انسانی، استفاده از سوخت‌های فسیلی و تغییر در پوشش و کاربری زمین باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر شده است. محققین بر این عقیده‌اند که این افزایش باعث دگرگونی در بیلان انرژی و روند دمای اتمسفر و در نتیجه منجر به تغییر اقلیم خواهد شد. گزارش‌های مشابه در مورد افزایش دمای سطحی زمین در نقاط مختلف مؤید این مطلب می‌باشد (کمال و مساح بوانی، ۱۳۹۰). با توجه به گزارشات هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC^۱)، اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش نیابد متوسط دمای زمین تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند به میزان ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (واتقی و همکاران، ۱۳۹۰). با افزایش گرمایش جهانی و حادث شدن پدیده تغییر اقلیم در آخرین دهه‌های قرن بیستم و ادامه آن در قرن بیست و یکم، جهان با یک چالش جدید مواجه گردیده که تأثیرات مهمی بر منابع طبیعی و به خصوص منابع آب خواهد گذاشت. از جمله این اثرات سوء می‌توان به وقوع سیلاب‌های شدید، خشکسالی‌های طولانی، کاهش ذخایر برفی کوهستان‌ها، بالا آمدن سطح آب اقیانوس-ها، تغییر و افزایش نرخ تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن سدها و تشدید مسئله کمبود و هدررفت آب و... اشاره نمود. با توجه به اینکه آب و مسائل مربوط به آن از جمله دغدغه‌های اصلی بشر در دوره‌های آینده به حساب می‌آید، جهت مدیریت هرچه بهتر منابع آب، ضرورت دارد وقوع تغییرات اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آن بر شرایط اقلیمی و منابع آب کشور شناسایی گردد (فولاد و همکاران، ۱۳۹۰). اثبات وقوع پدیده تغییر اقلیم، در سطح جهان به سهولت امکان‌پذیر نیست و نیازمند بررسی‌های جامع و طولانی مدت است. هر چند روند گرم‌تر شدن دمای سطح زمین و افزایش غلظت CO_2 تقریباً قطعی می‌نماید (رشیدی و غریب، ۱۳۹۰).

هر گونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین، باعث برهم خوردن تعادل بین اجزاء سیستم اقلیم کره زمین می‌گردد. اما اینکه در آینده چه مقدار از این گازها توسط جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و به تبع آن چه وضعیتی برای سیستم اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست. لذا به صورت کاملاً غیر قطعی و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است. روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی اقلیم آینده وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) است. هدف این مدل‌ها شبیه‌سازی همه ویژگی‌های سه بعدی آب و هوا بوده و از این رو جامع‌ترین مدل‌های جوی برای پیش‌بینی وضعیت آینده می‌باشد (روشن و همکاران، ۱۳۹۱).

مدل‌های GCM^۱ بر پایه قوانین فیزیکی که به وسیله روابط ریاضی بیان می‌شوند، استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین و لایه‌های میانی و فوقانی جو حل می‌گردند. به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرآیندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پسته و زیست کره) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی می‌شوند. سپس تمام مدل‌های فرعی اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پسته و زیست کره با یکدیگر جفت شده و مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) را تشکیل می‌دهند (ضرغامی و همکاران، ۱۳۸۹). این مدل‌ها به خاطر پیچیدگی زیادی که دارند به ناچار در ابعاد بالای مکانی اجرا می‌شوند، به همین علت قابل استفاده در ابعاد کوچکتر مانند سطح یک شهر و حوضه آبریز نیستند و اختلاف زیادی با واقعیت دارند. به عملیاتی که این خطا و اختلاف را کاهش می‌دهد و داده‌های مدل‌های چرخه عمومی را در ابعاد مکانی کوچکتر قابل استفاده می‌کنند، ریزمقیاس‌نمایی^۲ گفته می‌شود. برای این کار از دو روش دینامیکی و آماری می‌توان استفاده کرد (آرنل و همکاران،^۳ ۲۰۰۴).

1. General Circulation Model
2. Downscaling
3. Arnell et al

از مدل‌هایی که برای ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی استفاده می‌شود می‌توان به MM5 RegCM3, PRECIS اشاره کرد. اما روش‌های دینامیکی جزء روش‌های پرهزینه بوده که در ایران در دسترس نیستند.

ریزمقیاس کردن آماری با سه روش اصلی طبقه بندی هواشناسی، مدل‌های رگرسیونی و مولدهای هواشناسی انجام می‌شود (میشل^۱، ۲۰۰۳). پرکاربردترین روش ریزمقیاس‌نمایی آماری روش مولدهای هواشناسی بوده که معروف‌ترین مدل‌های مولد هواشناسی عبارت‌اند از:

LARS-WG, WGEN, CLIGEN, USCLIMAT, GEM, SDSM, MET&ROLL

به دلیل اهمیت مدل‌های GCM برای شبیه‌سازی آب و هوای آینده، مطالعات زیادی توسط پژوهشگران، تحت سناریوهای مختلف انجام شده است. بابائیان و کوان^۲ (۲۰۰۴) تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی را با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این مطالعه بر روی پارامترهای اقلیمی بارش، تابش، دمای حداقل، دمای حداکثر، طول دوره روزهای تر و خشک و روند تغییرات بارش‌های سنگین ۱۰ ایستگاه سینوپتیک کشور کره جنوبی انجام گرفت. همچنین پژوهشی با عنوان "مطالعات مقدماتی و ارزیابی مدل‌های تولید داده، مطالعه موردی: ارزیابی مدل LARS-WG بر روی ایستگاه‌های منتخب خراسان" به انجام رسیده است. نتایج مدل‌سازی ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پروژه نشان‌دهنده توانمندی بسیار خوب مدل LARS-WG برای مدل‌سازی دماهای بیشینه و کمینه و انحراف معیار آن‌ها در دوره آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی می‌باشد (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵). اشرف و همکاران (۱۳۹۰) داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 را با به کارگیری مدل LARS-WG طبق سه سناریوی A1B, A2 و B1 ریزمقیاس‌نموده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات

1. Mitchell
2. Babaeian and Kwon

آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آتی تفاوت محسوس با شرایط فعلی خواهد داشت.

مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) اثرات این پدیده بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان تحت داده‌های مدل گردش عمومی HADCM3 و دو سناریوی A2 و B2 در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد بررسی قرار داده‌اند. تجزیه و تحلیل‌های این اطلاعات، نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ بخصوص در نیمه دوم قرن را دارد. در مطالعه عباسی و همکاران (۱۳۸۹) اقلیم استان خراسان جنوبی با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و مدل مولد هواشناسی LARS-WG در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ بررسی و بیان شد که میانگین سالانه دما و بارش در این استان به ترتیب در حدود ۰/۳ درجه سانتیگراد و ۴ درصد افزایش خواهد یافت.

در یک مطالعه بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸)، ضمن استفاده از دو مدل LARS-WG و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی ۱۵ ایستگاه هواشناسی در ایران به این نتیجه رسیده‌اند که مدل LARS-WG در تولید داده‌های بارندگی و تابش خورشید عملکرد بهتری از مدل رقیب دارد.

مدل LARS-WG در ایران جزء مدل‌های رایج است. ضرغامی^۱ و همکاران (۲۰۱۲) برای تعیین اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های منتخب استان آذربایجان شرقی این مدل را مورد استفاده قرار دادند. نتایج این مدل کاهش رواناب در حوضه‌های منتخب و تغییر وضعیت آب و هوایی منطقه از نیمه خشک به خشک نشان می‌دهد. فخری و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات اقلیمی دریاچه ارومیه را با ایستگاه سینوپتیک ارومیه و نتایج مدل LARS-WG مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق نشان داده شده است که مدل قادر به تخمین بارش با اطمینان ۹۵ درصدی است. همچنین افزایش دو درصدی بارش به صورت افزایش مقدار حدی بارش پیش‌بینی شده است. شیرواند و همکاران (۱۳۸۹)

تغییرات دما و بارش استان لرستان را با این مدل مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ ایستگاه الیگودرز افزایش بارش و دما و ایستگاه خرم آباد کاهش دما و افزایش باران را تجربه خواهند کرد.

بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) به این نتیجه رسیدند که در کل کشور بارش به میزان ۹ درصد کاهش می‌یابد که بیشترین کاهش در استان‌های واقع در غرب، جنوب غربی، سواحل جنوبی و شرقی خزر رخ می‌دهد. همچنین میانگین دما در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی به‌طور متوسط ۰/۵ درجه سانتیگراد در مقایسه با دوره پایه افزایش می‌یابد. شاه‌کرمی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی سناریوهای اقلیمی دما و بارندگی در حوضه زاینده رود را با استفاده از هفت مدل AOGCM و سناریوی انتشار A2 تا افق سال ۲۱۰۰ تولید نمودند و به منظور تعیین سناریوهای تغییر اقلیم در این حوضه، مقادیر مربوط مورد پردازش قرار گرفتند.

در تحقیق Roulin و Gellens (۱۹۹۸) تأثیر تغییر اقلیم بر میزان جریان آب در حوضه بلژیک، با استفاده از خروجی‌های شش مدل GCM در ۸ حوضه با مساحتی حدود ۱۱۵ تا ۱۲۳۵ کیومتر مربع و میانگین ارتفاعی ۲۲ تا ۴۶۵ متر از سطح دریا مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. تمام مدل‌ها به جزء دو مورد از آن‌ها، افزایش فراوانی سیلاب را نشان دادند (IPCC, 1995). سمونف و بارو^۱ در سال ۲۰۰۲ با استفاده از مدل LARS-WG سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نموده و قابلیت این مدل برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه را مورد تأیید قرار دادند. سمونف و استراتونویچ^۲ در سال ۲۰۱۰ عملکرد نسخه جدید LARS-WG را در مقایسه با نسخه‌های قبلی مورد مقایسه قرار دادند. نسخه این مدل از یک توزیع احتمالاتی تجربی به جای توزیع نرمال برای تخمین دما استفاده می‌شود. همچنین در این نسخه برای تخمین بهتر مقادیر حدی بازه‌های مقادیر در حدود نزدیک به احتمال صفر و یک افزایش یافته‌اند. استفاده از

1. Barrow
2. Stratonovitch

نتایج ۱۵ مدل چرخه عمومی در نسخه ۵/۰ مدل LARS-WG امکانی است که دیگر مدل‌های کوچک مقیاس‌نمایی از آن برخوردار نیستند.

الشمی^۱ و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مدل‌های مولد هواشناسی، اثرات تغییر اقلیم در جنوب انگلستان را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج مشابهی را بیان نمودند. در مطالعه حاضر از داده‌های سه سناریوی A1B, A2, B1 مدل گردش عمومی جو HADCM3 برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه، خوی، مهاباد و ماکو در شرایط افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل تولید داده LARS-WG استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

مدل LARS-WG^۲

این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع آب و هوا است که برای تولید مقادیر بارش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود و از نوع سریال می‌باشد. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست در سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. در این مدل از روش زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی رخداد بارش استفاده می‌شود. در مدل آماری LARS-WG فرض بر این است که رفتار دمای حداقل و حداکثر از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. البته به عنوان یک نقطه ضعف، هارمل^۳ و همکاران (۲۰۰۲) در مؤسسه تحقیقات کشاورزی آمریکا دمای حداقل و حداکثر ۱۵ ایستگاه هواشناسی آمریکا را در دوره زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ مورد مطالعه قرار داده و با مقایسه داده‌های مدل شده با داده‌های واقعی دوره مذکور، مشاهده نمودند که فرض تبعیت از توزیع نرمال برای دما در برخی از ایستگاه‌ها نادرست بوده و

1. Elshamy

2. Long Ashton research station-weather generator

3. Harmel

دارای چولگی می‌باشد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی می‌باشد. در توزیع نیمه تجربی فاصله‌ها به طور مساوی بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم سری زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند:

$$\text{EMP} = \{a_0, a_i, h_i, \dots, i=0, 1, 2, \dots, 10\} \quad a_{i-1} < a_i \quad \text{داریم:}$$

که در اینجا EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش است. h_i : تعداد رخداد بارش در i مین فاصله را نشان می‌دهد. فاصله‌ها برای طول روزهای تر و خشک و بارش افزایشی هستند.

در این مدل تابش به طور مستقل از درجه حرارت مدل شده است و به جای آن می‌توان از ساعت آفتابی نیز استفاده کرد. مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. همچنین در این مدل سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت-های مینیمم و ماکزیمم روزانه به صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

تولید داده‌ها توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. برای اجرای مدل نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه‌های واقع در داخل آن شبکه نیز وجود دارد. سپس این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می‌کند. داده‌های مصنوعی تولید شده دارای خواص آماری مشابه با داده‌های دیده بانی شده یا سناریوی تعریف شده هستند. نسخه ۵/۰ این مدل، امکان پیش‌بینی تغییر اقلیم به وسیله نتایج مدل‌های چرخه عمومی گزارش چهارم دستاوردهای IPCC را دارد. سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B, A2 و B1 در این مدل برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی به صورت روزانه و در مقیاس ایستگاهی استفاده شده‌اند. نسخه جدید مدل

امکان تولید ۳۵ سری زمانی تغییر اقلیم را برای هر ایستگاه را به دست می دهد (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲).

شاخص دمارتن^۱

یکی از شاخص هایی که به منظور پایش خشکسالی به کار می رود، شاخص دمارتن (۱۹۲۶) است که با توجه به سهولت کاربرد آن برای طبقه بندی اقلیم به صورت زیر توصیه شده است:

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

که در آن T دمای متوسط سالانه (بر حسب درجه سانتی گراد) و P مقدار بارش میانگین سالانه (بر حسب میلیمتر) در یک منطقه می باشد. اگر شاخص I بین ۱۰ تا ۲۰ باشد، اقلیم منطقه نیمه خشک ولی اگر زیر ۱۰ باشد اقلیم آنجا خشک طبقه بندی می شود (علیزاده، ۱۳۸۰).

داده ها و منطقه مورد مطالعه

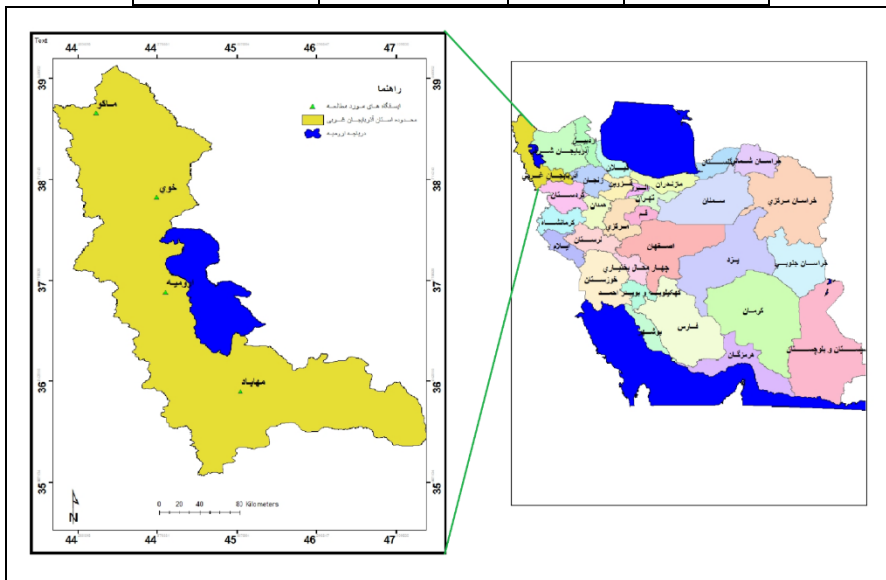
مطالعه حاضر بر روی استان آذربایجان غربی که موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است، انجام گرفته است. این استان در شمال غربی ایران قرار دارد و از شمال به جمهوری آذربایجان و ترکیه، از مغرب به کشورهای ترکیه و عراق، از شرق به استان آذربایجان شرقی و استان زنجان و از جنوب به استان کردستان محدود است. این ناحیه از نظر طبقه بندی اقلیمی در زیر ناحیه اقلیمی نیمه خشک سرد قرار دارد (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸). این مطالعه بر روی ۴ ایستگاه سینوپتیک استان آذربایجان غربی انجام گرفته است. خصوصیات جغرافیایی هر یک از ایستگاه های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. لازم به ذکر است که داده های سایر ایستگاه های مورد بررسی در استان به

1. De martonne index

دلیل کم بودن تعداد سال‌های آماری قابل استناد نبوده و در مطالعه حاضر منظور نشده است.

جدول ۱- خصوصیات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
ارومیه	۱۳۲۸	۳۷/۶۷	۴۵/۰۵
خوی	۱۱۰۳	۳۸/۵۵	۴۴/۹۷
مهاباد	۱۳۵۱/۸	۳۶/۷۵	۴۵/۷۲
ماکو	۱۴۱۱/۳	۳۹/۳۳	



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه‌های سینوپتیک استان در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۸۵-۲۰۰۹) از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پس از پردازش و مرتب سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله کالیبره کردن به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که روابط آن‌ها در ادامه آمده است، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه گردید.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (3)$$

در این روابط X_i و Y_i به ترتیب آامین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده توسط مدل، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با توجه به مقادیر بالای ضریب تبیین و مقادیر نسبتاً پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل‌گردش عمومی جو HADCM3 و تولید داده مصنوعی برای ۳ دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ با استفاده از سه سناریوی B1, A2, A1B (به ترتیب بدینانه، متوسط و خوشبینانه) تأیید شده توسط IPCC، اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور تولید شد. در جدول ۲ خصوصیات مدل HADCM3 و سه سناریوی تغییر اقلیم مورد استفاده، نشان داده شده است. در ادامه کار برای ارزیابی نوسانات اقلیمی ارومیه، سناریوهای تغییر اقلیم (A2, B1, A1B) بر مبنای خروجی‌های مدل HADCM3 در دوره‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰، ۲۰۴۵ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۸۵ تا ۲۱۰۰ تدوین گردیده و سپس خروجی‌های مدل (داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه در ۳ دوره مذکور) میانگین‌گیری شده و تفاضل مقادیر ماهانه دوره‌ها از دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۷۱)، تغییرات ماهانه پارامترهای مورد بررسی محاسبه و نمودارهای مربوط به پارامترهای اقلیمی رسم شد.

بحث و نتایج

جدول ۳ نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه را نشان می‌دهد. چنانچه در این جدول مشاهده می‌شود، مقدار ضریب تبیین از میزان قابل توجهی برخوردار می‌باشد. همچنین مقادیر شاخص‌های خطاسنجی نیز نسبتاً پایین بوده که مؤید انطباق نسبی و قابل قبول مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه است. لذا با توجه به این موارد، قابلیت و توانایی مدل در داده-سازی مورد تأیید قرار گرفته و پس از آن شبیه‌سازی داده‌ها برای ۳ دوره مدل صورت گرفت.

جدول ۲- ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم

طراح مدل	مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی - بریتانیا
متغیرهای پیشگوی جوی	دما، مؤلفه‌های افقی سرعت باد، فشار سطح، ظرفیت آب مایع، آب مایع موجود
متغیرهای پیشگوی اقیانوسی	دما، شوری، مؤلفه‌های افقی سرعت باد در جو باروکلینیک، عمق لایه اختلاط
قدرت تفکیک جوی	عرض جغرافیایی ۲٫۷۵ و طول جغرافیایی ۳٫۷۵ درجه
قدرت تفکیک اقیانوسی	عرض جغرافیایی ۱٫۲۵ و طول جغرافیایی ۱٫۲۵ درجه
	استوا: ۴۱۷ کیلومتر * ۲۸۷ کیلومتر
قدرت تفکیک سطحی	عرض ۴۵ درجه: ۲۹۵ کیلومتر * ۲۸۷ کیلومتر
	رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی
A1B	رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر
	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان
A2	
	همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع
B1	فناوری پاک و مؤثر)

با توجه به اینکه ۳ پارامتر در ۴ ایستگاه در ۳ دوره مورد مطالعه قرار گرفته است، امکان ارائه همه این نتایج در مقاله مقدور نیست، ایستگاه ارومیه به عنوان نمونه انتخاب و نتایج ماهانه آن در ۳ دوره مورد مطالعه در جداول ۴ تا ۶ و تغییرات مربوط به بارش، دمای کمینه و بیشینه در اشکال ۲ تا ۴ آمده است.

با توجه به نتایج بدست آمده در جداول ۴ تا ۶، مشاهده می‌شود که بر اساس برآورد مدل، میزان بارندگی در دوره اول به غیر از ۳ ماه Dec, Aug, Mar در هر ۳ سناریو و

ماه‌های Sep, Jul در سناریوهای اول و سوم در بقیه ماه‌ها و نیز در دوره‌های بعدی روند کاهشی دارد. دمای کمینه و بیشینه در تمام دوره‌ها و نیز هر ۳ سناریو روند افزایشی دارد.

جدول ۳- مقادیر آماره‌های واسنجی جهت ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۵)

ایستگاه	آماره	بارش	دمای کمینه	دمای بیشینه
ارومیه	R2	۰/۹۹۰۹	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۶
	RMSE	۱/۶۱۹۳	۰/۲۳۷۵	۰/۲۰۷۳
	MAE	۱/۲۶۶۲	۰/۲۰۵۸	۰/۱۷۵۷
خوی	R2	۰/۹۳۰۴	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۴
	RMSE	۴/۸۵۰۰	۰/۱۳۱۶	۰/۰۸۱۶
	MAE	۴/۱۸۵۰	۰/۰۷۹۰	۰/۰۳۸۰
مهاباد	R2	۰/۹۲۷۸	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۷
	RMSE	۶/۶۶۰۰	۰/۲۸۶۱	۰/۱۶۴۴
	MAE	۵/۲۱۵۰	۰/۲۴۵۸	۰/۱۳۵۱
ماکو	R2	۰/۹۳۰۴	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۶
	RMSE	۲/۴۴۳۰	۰/۳۵۷۶	۰/۲۲۹۰
	MAE	۱/۸۵۷۹	۰/۳۱۳۹	

جدول ۴- مقادیر متوسط ماهانه پارامترهای اقلیمی در حالت پایه و اختلاف آن با مقادیر پیش‌بینی شده

در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی تحت سناریوهای مدل HADCM3 در ایستگاه سینوپتیک ارومیه

پارامتر سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
حالت پایه	۲۳/۸	۳۱/۲	۴۶/۱	۵۲/۵	۴۹/۰	۱۳/۳	۷/۲۱	۱/۷۶	۴/۹۹	۲۱/۶	۴۱/۱	۲۸/۵
	۲	۶	۶	۵	۸	۷	۷/۲۱	۱/۷۶	۴/۹۹	۴	۴	۲
	۲۴/۱	۳۲/۰	۴۵/۹	۵۹/۶	۵۰/۶	۱۴/۲	۳/۷۱	۰/۹۳	۱/۶۲	۲۳/۴	۴۳/۶	۲۲/۱
بارش	۰	۸	۵	۳	۷	۴	۳/۷۱	۰/۹۳	۱/۶۲	۷	۳	۱
	۲۵/۵	۳۷/۹	۴۴/۳	۴۷/۳	۴۷/۱	۱۲/۱	۸/۳۹	۱/۷۵	۵/۳۷	۲۳/۶	۵۳/۲	۱۹/۲
	۰	۷	۶	۱	۱	۰	۸/۳۹	۱/۷۵	۵/۳۷	۱	۰	۱
A1	۲۵/۴	۳۲/۵	۴۴/۸	۵۸/۶	۵۲/۱	۱۷/۰	۳/۵۳	۰/۹۱	۱/۶۵	۲۴/۵	۴۷/۱	۲۳/۸
	۱	۴	۰	۱	۶	۲	۳/۵۳	۰/۹۱	۱/۶۵	۰	۲	۳
	۰/۲۷	۰/۸۲	۰/۲۱	۷/۰۷	۱/۵۸	۰/۸۶	۳/۵۰	۰/۸۳	۳/۳۸	۱/۸۳	۲/۴۹	۶/۴۱
A2	۱/۶۸	۶/۷۱	-	۵/۲۴	۱/۹۷	۱/۲۸	۱/۱۷	-	۰/۳۷	۱/۹۷	۱۲/۰	-
	۱/۵۹	۱/۲۸	-	۶/۰۶	۳/۰۸	۳/۶۵	-	-	-	۲/۸۶	۵/۹۷	۹/۳۱
	-	-	۱/۳۶	۶/۰۶	۳/۰۸	۳/۶۵	۳/۶۹	۰/۸۶	۳/۳۴	۲/۸۶	۵/۹۷	۴/۶۹
حالت پایه	-	-	-	۴/۵۶	۸/۳۳	۱۲/۳	۱۶/۳	۱۵/۰	۱۰/۶	۵/۶۵	۰/۸۴	-
	۶/۹۱	۵/۰۸	۰/۵۳	۴/۵۶	۸/۳۳	۱۲/۳	۱۶/۳	۱۵/۰	۱۰/۶	۵/۶۵	۰/۸۴	۳/۶۲
	-	-	-	۴/۵۶	۸/۳۳	۱۲/۳	۱۶/۳	۱۵/۰	۱۰/۶	۵/۶۵	۰/۸۴	-
A1	-۶/۶۶	-	۰/۳۴	۵/۴۰	۹/۰۴	۱۳/۶	۱۷/۷	۱۶/۴	۱۱/۷	۶/۱۹	۱/۳۸	-
	-	-	-	۵/۴۰	۹/۰۴	۱۳/۶	۱۷/۷	۱۶/۴	۱۱/۷	۶/۱۹	۱/۳۸	۳/۴۳
	-	-	-	۵/۴۰	۹/۰۴	۱۳/۶	۱۷/۷	۱۶/۴	۱۱/۷	۶/۱۹	۱/۳۸	-
A2	۵/۹۳	۴/۱۰	۰/۶۱	۵/۴۰	۹/۳۳	۱۳/۵	۱۷/۶	۱۶/۳	۱۲/۰	۶/۵۲	۱/۷۶	-
	-	-	-	۵/۴۰	۹/۳۳	۱۳/۵	۱۷/۶	۱۶/۳	۱۲/۰	۶/۵۲	۱/۷۶	۳/۳۷
	-	-	-	۵/۴۰	۹/۳۳	۱۳/۵	۱۷/۶	۱۶/۳	۱۲/۰	۶/۵۲	۱/۷۶	-
B1	۶/۵۸	۴/۳۸	۰/۴۳	۵/۶۷	۹/۳۷	۱۳/۸	۱۷/۸	۱۶/۶	۱۲/۰	۶/۴۵	۱/۴۹	-
	-	-	-	۵/۶۷	۹/۳۷	۱۳/۸	۱۷/۸	۱۶/۶	۱۲/۰	۶/۴۵	۱/۴۹	۳/۴۲
	-	-	-	۵/۶۷	۹/۳۷	۱۳/۸	۱۷/۸	۱۶/۶	۱۲/۰	۶/۴۵	۱/۴۹	-

۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۷۱	۱/۲۲	۱/۴۱	۱/۴۲	۱/۱۰	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۱۹	A1 B	تغییرات
۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۱۵	۰/۸۴	۱/۰۰	۱/۱۹	۱/۳۷	۱/۳۴	۱/۳۰	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۳۵	A2	
۰/۳۳	۰/۷۰	۰/۹۷	۱/۱۱	۱/۰۵	۱/۴۲	۱/۵۵	۱/۶۶	۱/۳۵	۰/۸۱	۰/۶۴	۰/۲۰	B1	
۲/۰۸	۴/۳۴	۱۰/۲	۱۶/۶	۲۱/۴	۲۶/۸	۳۰/۶	۳۰/۱	۲۶/۳	۱۹/۵	۱۱/۹	۵/۶۹	حالت پایه	دمای بیشینه
۲/۲۶	۴/۸۶	۱۱/۰	۱۷/۰	۲۲/۱	۲۷/۹	۳۲/۰	۳۱/۶	۲۷/۵	۲۰/۲	۱۲/۳	۵/۸۹	A1 B	
۲/۹۰	۵/۱۳	۱۱/۲	۱۷/۳	۲۲/۳	۲۸/۱	۳۲/۰	۳۱/۵	۲۷/۶	۲۰/۴	۱۲/۸	۶/۰۳	A2	
۲/۳۴	۴/۸۹	۱۱/۰	۱۷/۳	۲۲/۴	۲۸/۱	۳۲/۲	۳۱/۸	۲۷/۷	۲۰/۵	۱۲/۴	۵/۸۸	B1	
۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۶۷	۱/۱۵	۱/۴۶	۱/۴۴	۱/۲۰	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۱۹	A1 B	تغییرات
۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۹۷	۰/۷۶	۰/۸۹	۱/۲۹	۱/۳۸	۱/۳۲	۱/۲۹	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۳۴	A2	
۰/۲۶	۰/۵۴	۰/۸۰	۰/۷۴	۱/۰۰	۱/۳۴	۱/۶۱	۱/۶۸	۱/۴۶	۰/۹۶	۰/۵۵	۰/۱۹	B1	

جدول ۵- مقادیر متوسط ماهانه پارامترهای اقلیمی در حالت پایه و اختلاف آن با مقادیر پیش‌بینی شده

در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میلادی تحت سناریوهای مدل HADCM3 در ایستگاه سینوپتیک ارومیه

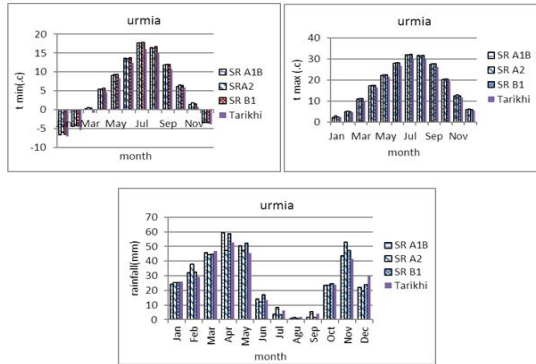
پارامتر	سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	حالت پایه
بارش	حالت پایه	۲۳/۸۲	۳۱/۲۶	۴۶/۱۶	۵۲/۵۵	۴۹/۰۸	۱۳/۳۷	۷/۲۱	۱/۷۶	۴/۹۹	۲۱/۶۴	۴۱/۱۴	۲۸/۵۲	حالت پایه
	A1B	۲۵/۴۱	۳۲/۵۴	۴۴/۸۰	۵۸/۶۱	۵۲/۱۶	۱۷/۰۲	۳/۵۳	۰/۹۱	۱/۶۵	۲۴/۵۰	۴۷/۱۲	۲۳/۸۳	A1B
	A2	۲۵/۲۸	۳۲/۷۲	۴۴/۰۲	۵۱/۸۹	۴۳/۹۷	۱۳/۰۱	۲/۴۱	۰/۶۸	۱/۵۰	۲۳/۷۵	۴۲/۴۵	۲۲/۳۰	A2
تغییرات	B1	۲۳/۷۳	۲۹/۶۴	۴۰/۹۳	۴۵/۰۵	۳۷/۷۴	۹/۴۸	۴/۴۱	۰/۸۹	۱/۷۱	۲۱/۰۵	۵۱/۰۲	۲۰/۲۴	B1
	A1B	۱/۵۹	۱/۲۸	-۱/۳۶	۶/۰۶	۳/۰۸	۳/۶۵	-۳/۶۹	-۰/۸۶	-۳/۳۴	۲/۸۶	۵/۹۷	-۴/۶۹	A1B
	A2	۱/۴۶	۱/۴۶	-۲/۱۴	-۰/۶۷	-۵/۱۱	-۰/۳۷	-۴/۸۱	-۱/۰۹	-۳/۴۹	۲/۱۱	۲/۳۱	-۶/۲۲	A2
دمای کمینه	B1	-۰/۱۰	-۱/۶۲	-۵/۲۳	-۷/۵۱	-	-۳/۹۰	-۲/۸۰	-۰/۸۷	-۳/۲۸	-۰/۵۹	۹/۸۷	-۸/۲۸	B1
	حالت پایه	-۶/۹۱	-۵/۰۸	-۰/۵۳	۴/۵۶	۸/۳۳	۱۲/۳۹	۱۶/۳۳	۱۵/۰۲	۱۰/۶۹	۵/۶۵	۰/۸۴	-۳/۶۲	حالت پایه
	A1B	-۶/۵۸	-۴/۳۸	-۰/۴۳	۵/۶۷	۹/۳۷	۱۳/۸۱	۱۷/۸۸	۱۶/۶۸	۱۲/۰۵	۶/۴۵	۱/۴۹	-۳/۴۲	A1B
	A2	-۵/۳۳	-۳/۱۳	۱/۶۱	۶/۸۳	۱۰/۸۴	۱۵/۹۸	۲۰/۴۳	۱۸/۷۹	۱۳/۶۰	۷/۶۷	۲/۵۹	-۲/۳۱	A2
تغییرات	B1	-۵/۵۰	-۳/۲۹	۱/۷۷	۶/۷۷	۱۰/۷۹	۱۵/۵۴	۱۹/۶۴	۱۸/۰۰	۱۳/۰۰	۷/۲۵	۲/۴۱	-۲/۳۲	B1
	A1B	-۰/۳۳	-۰/۷۰	-۰/۹۷	۱/۱۱	۱/۰۵	۱/۴۲	۱/۵۵	۱/۶۶	۱/۳۵	-۰/۸۱	-۰/۶۴	-۰/۲۰	A1B
	A2	۱/۵۸	۱/۹۵	۲/۱۵	۲/۲۷	۲/۵۲	۳/۵۹	۴/۱۱	۳/۷۸	۲/۹۰	۲/۰۳	۱/۷۵	۱/۳۱	A2
دمای بیشینه	B1	۱/۴۱	۱/۷۹	۲/۳۰	۲/۲۱	۲/۴۶	۳/۱۴	۳/۳۱	۲/۹۸	۲/۳۱	۱/۶۰	۱/۵۷	۱/۳۰	B1
	حالت پایه	۲/۰۸	۴/۳۴	۱۰/۲۹	۱۶/۶۳	۲۱/۴۵	۲۶/۸۳	۳۰/۶۲	۳۰/۱۸	۲۶/۳۳	۱۹/۵۶	۱۱/۹۴	۵/۶۹	حالت پایه
	A1B	۲/۳۴	۴/۸۹	۱۱/۰۹	۱۷/۳۷	۲۲/۴۵	۲۸/۱۷	۳۲/۲۳	۳۱/۸۶	۲۷/۷۸	۲۰/۵۲	۱۲/۴۹	۵/۸۸	A1B
	A2	۲/۵۹	۶/۱۳	۱۲/۲۶	۱۸/۵۲	۲۳/۹۲	۳۰/۳۵	۳۴/۷۸	۳۳/۹۸	۲۹/۲۹	۲۱/۷۴	۱۳/۶۰	۶/۹۹	A2
B1	۲/۵۱	۶/۰۶	۱۲/۳۶	۱۸/۷۶	۲۳/۸۵	۳۰/۰۱	۳۳/۹۹	۳۳/۱۵	۲۸/۷۵	۲۱/۳۸	۱۳/۳۳	۷/۰۱	B1	

۰/۲۶	۰/۵۴	۰/۸۰	۰/۷۴	۱/۰۰	۱/۳۴	۱/۶۱	۱/۶۸	۱/۴۶	۰/۹۶	۰/۵۵	۰/۱۹	A1B	
۱/۵۰	۱/۷۹	۱/۹۷	۱/۸۹	۲/۴۷	۳/۵۳	۴/۱۶	۳/۸۰	۲/۹۷	۲/۱۷	۱/۶۶	۱/۳۰	A2	تغییرات
۱/۴۳	۱/۷۲	۲/۰۷	۲/۱۳	۲/۳۹	۳/۱۹	۳/۳۷	۲/۹۷	۲/۴۲	۱/۸۲	۱/۳۸	۱/۳۱	B1	

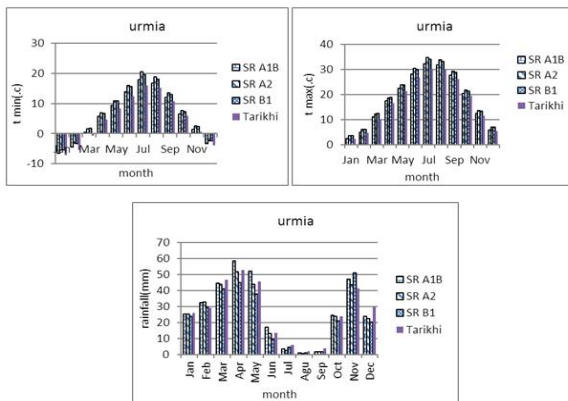
جدول ۶- مقادیر متوسط ماهانه پارامترهای اقلیمی در حالت پایه و اختلاف آن با مقادیر پیش‌بینی شده

در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی تحت سناریوهای مدل HADCM3 در ایستگاه سینوپتیک ارومیه

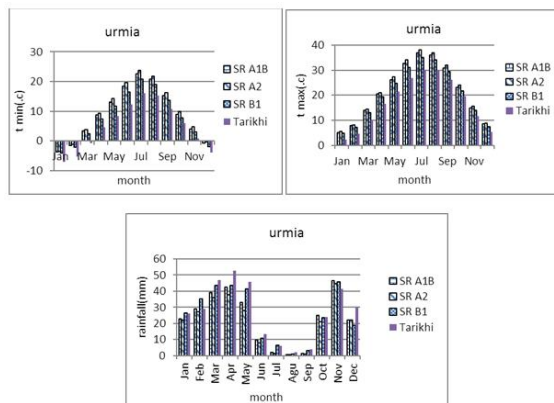
پارامتر	سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	حالت
بارش	پایه	۲۳/۸۲	۳۱/۲۶	۴۶/۱۶	۵۲/۵۵	۴۹/۰۸	۱۳/۳۷	۷/۲۱	۱/۷۶	۴/۹۹	۲۱/۶۴	۴۱/۱۴	۲۸/۵۲	حالت
	A1B	۲۲/۷۰	۲۹/۱۶	۳۹/۳۳	۴۲/۴۵	۳۲/۸۷	۹/۷۷	۱/۹۷	۰/۵۷	۱/۴۳	۲۴/۸۵	۴۶/۶۴	۲۱/۹۳	پایه
	A2	۲۲/۱۲	۲۷/۲۸	۳۵/۸۷	۳۷/۸۶	۲۷/۸۹	۷/۹۲	۱/۴۳	۰/۴۲	۱/۱۳	۲۱/۱۷	۴۴/۷۸	۲۲/۰۸	A1B
تغییرات	B1	۲۶/۴۶	۳۵/۱۴	۴۳/۶۳	۴۳/۵۱	۴۱/۵۷	۱۰/۷۹	۶/۲۹	۱/۰۴	۳/۱۲	۲۳/۶۸	۴۵/۷۰	۱۸/۹۳	A2
	A1B	-۱/۱۳	-۲/۱۰	-۶/۸۲	۱۰/۱۱	۱۶/۲۲	-۳/۶۰	-۵/۲۴	-۱/۱۹	-۳/۵۶	۳/۲۱	۵/۵۰	-۶/۵۹	حالت
	A2	-۱/۷۱	-۳/۹۸	۱۰/۲۹	۱۴/۶۹	۲۱/۱۹	-۵/۴۶	-۵/۷۸	-۱/۳۵	-۳/۸۷	-۰/۴۷	۳/۶۴	-۶/۴۴	پایه
دمای کمینه	B1	۲/۶۴	۳/۸۸	-۲/۵۳	-۹/۰۵	-۷/۵۲	-۲/۵۸	-۰/۹۳	-۰/۷۲	-۱/۸۷	۲/۰۴	۴/۵۵	-۹/۵۹	A1B
	پایه	-۶/۹۱	-۵/۰۸	-۰/۵۳	۴/۵۶	۸/۳۳	۱۲/۳۹	۱۶/۳۳	۱۵/۰۲	۱۰/۶۹	۵/۶۵	-۱/۸۴	-۳/۶۲	حالت
	A1B	-۳/۷۸	-۱/۴۹	۳/۳۲	۸/۷۳	۱۳/۱۲	۱۸/۳۷	۲۲/۶۱	۲۰/۷۱	۱۵/۲۲	۹/۰۲	۳/۹۰	-۰/۸۲	پایه
تغییرات	A2	-۳/۴۶	-۱/۰۷	۳/۷۶	۹/۳۷	۱۴/۱۷	۱۹/۶۰	۲۳/۷۴	۲۱/۷۲	۱۶/۲۲	۹/۹۹	۴/۷۰	-۰/۴۰	A1B
	B1	-۴/۰۴	-۲/۲۳	۲/۳۸	۷/۴۲	۱۱/۷۴	۱۶/۴۸	۲۰/۷۱	۱۹/۱۱	۱۳/۷۶	۷/۷۸	۲/۹۳	-۱/۹۱	A2
	A1B	۳/۱۴	۳/۵۹	۳/۸۶	۴/۱۷	۴/۸۰	۵/۹۷	۶/۲۹	۵/۶۹	۴/۵۳	۳/۳۷	۳/۰۵	۲/۷۸	حالت
تغییرات	A2	۳/۴۵	۴/۰۱	۴/۳۰	۴/۸۱	۵/۸۴	۷/۲۱	۷/۴۱	۶/۷۰	۵/۵۳	۴/۳۴	۳/۸۵	۳/۲۲	پایه
	B1	۲/۸۷	۲/۸۵	۲/۹۲	۲/۸۶	۳/۴۱	۴/۰۹	۴/۳۸	۴/۰۹	۳/۰۷	۲/۱۳	۲/۰۹	۱/۷۱	A1B
	حالت	۲/۰۸	۴/۳۴	۱۰/۲۹	۱۶/۶۳	۲۱/۴۵	۲۶/۸۳	۳۰/۶۲	۳۰/۱۸	۲۶/۳۳	۱۹/۵۶	۱۱/۹۴	۵/۶۹	پایه
تغییرات	A1B	۵/۱۴	۷/۷۷	۱۳/۹۸	۲۰/۴۲	۲۶/۲۰	۳۲/۷۵	۳۶/۹۶	۳۵/۹۰	۳۰/۹۲	۲۳/۰۷	۱۴/۹۰	۸/۴۷	پایه
	A2	۵/۴۶	۸/۲۰	۱۴/۴۱	۲۱/۰۶	۲۷/۲۵	۳۴/۰۳	۳۸/۰۹	۳۶/۹۰	۳۱/۹۲	۲۴/۰۵	۱۵/۷۰	۸/۹۰	A1B
	B1	۴/۸۱	۷/۰۸	۱۳/۰۲	۱۹/۳۹	۲۴/۷۵	۳۰/۹۸	۳۵/۰۰	۳۴/۲۲	۲۹/۳۴	۲۱/۷۵	۱۳/۹۲	۷/۴۷	A2
تغییرات	A1B	۳/۰۶	۳/۴۳	۳/۶۹	۳/۷۹	۴/۷۵	۵/۹۳	۶/۳۴	۵/۷۲	۴/۶۰	۳/۵۱	۲/۹۵	۲/۷۸	حالت
	A2	۳/۳۷	۳/۸۶	۴/۱۳	۴/۴۳	۵/۸۰	۷/۲۱	۷/۴۷	۶/۷۲	۵/۶۰	۴/۴۹	۳/۷۶	۳/۲۰	پایه
	B1	۲/۷۳	۲/۷۳	۲/۷۳	۲/۷۶	۳/۲۹	۴/۱۶	۴/۳۸	۴/۰۴	۳/۰۲	۲/۱۹	۱/۹۷	۱/۷۸	A1B



شکل ۲- مقایسه مقادیر مدل شده برای پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در ایستگاه ارومیه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای HADCM3



شکل ۳- مقایسه مقادیر مدل شده برای پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در ایستگاه ارومیه در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای HADCM3



شکل ۴- مقایسه مقادیر مدل شده برای پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در ایستگاه ارومیه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای HADCM3

تغییرات پارامترهای اقلیمی شامل بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه در سایر ایستگاه-ها فقط در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در اشکال ۵ تا ۷ جهت مقایسه با یکدیگر نشان داده شده است. همان‌طور که در اشکال مذکور مشاهده می‌شود، میزان بارش در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در ایستگاه خوی در ۳ ماه Apr, May, Jun, Nov تحت هر ۳ سناریو و در ماه Feb در سناریوی A1B, A2 افزایش و در بقیه موارد روند کاهشی دارد. بارش در ایستگاه مهاباد در ماه Jun سناریوی A2, ماه May سناریوی A1B, A2 و در ماه Aug تحت هر سه سناریو کاهش و در بقیه موارد افزایش می‌یابد. بارش در ایستگاه ماکو در ماه‌های Jan, Feb, Sep, Nov, Dec تحت هر سه سناریو و در ماه Apr سناریوی B1 افزایش و در بقیه موارد کاهش یافته است. فقط در ماه Dec تحت هر سه سناریو افزایش قابل ملاحظه بارش مشاهده می‌شود و در اکثر موارد بازهم روند کاهشی مشاهده می‌گردد. دمای کمینه و دمای بیشینه در هر سه ایستگاه افزایش می‌یابد.

در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میزان بارش در ایستگاه خوی فقط در ماه Jan تحت هر سه سناریو و در ماه Dec سناریوی A1B, B2 افزایش محسوس داشته و در بقیه موارد یا تقریباً بدون تغییر و یا به صورت کاهشی پیش‌بینی شده است. در ایستگاه مهاباد در ماه-های Jan, Sep, Oct, Nov, Dec تحت هر سه سناریو افزایش چشمگیر هرچند در بعضی از ماه‌ها نیز افزایش ناچیز مشاهده می‌گردد ولی در اکثر موارد کاهش بارندگی مشهود است. در ایستگاه ماکو افزایش قابل ملاحظه فقط در ماه Dec تحت هر سه سناریو مشاهده می‌شود و در اکثر موارد کاهش میزان بارش پیش‌بینی می‌شود. دمای کمینه و بیشینه نیز در هر ۳ ایستگاه همواره روند صعودی داشته است.

دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ میزان بارش در ایستگاه خوی فقط در ماه‌های Nov سناریوی A1B, A2 و در ماه Dec سناریوی B1 افزایش قابل ملاحظه مشاهده می‌شود اما کاهش بقیه موارد بسیار محسوس است. در ایستگاه مهاباد ماه‌های Mar, Apr, Jun سناریوی B1 و در ماه Sep سناریوهای A1B, A2 و در ماه‌های Nov, Dec تحت هر سه سناریو افزایش محسوس پیش‌بینی می‌شود، در بقیه موارد کاهش بارندگی ناچیز است. در

ایستگاه ماکو افزایش بارش فقط در چند ماه به صورت جزئی مشاهده می‌شود و در اکثر موارد کاهش مشهود است. همانند دوره‌های قبل دمای کمینه و بیشینه در هر سه ایستگاه افزایش می‌یابد.

تحلیل وقوع خشکسالی

با استفاده از داده‌های بارندگی خروجی مدل LARS-WG در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ و همچنین داده‌های واقعی بارندگی دوره پایه ۲۰۰۹-۱۹۸۵ میلادی، وضعیت خشکسالی ۴ ایستگاه سینوپتیک استان مطالعه گردید. به منظور پایش خشکسالی از شاخص دمارتن استفاده شد.

جدول ۷- وضعیت شاخص دمارتن برای ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی

سناریوها			دوره	ایستگاه
B1	A2	A1B		
			دوره پایه ۱۴/۵۹	
۱۵/۰۹	۱۴/۷۸	۱۴/۷۵	۲۰۱۱-۲۰۳۰	ارومیه
۱۲/۳	۱۲/۹۶	۱۵/۰۹	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۱۲/۴۶	۹/۵۸	۱۰/۸۲	۲۰۸۰-۲۰۹۹	
			دوره پایه ۲۰/۵۹	
۱۸/۶	۱۹/۴۴	۱۹/۶۸	۲۰۱۱-۲۰۳۰	خوی
۱۷/۱۴	۱۶/۲۶	۱۵/۳۸	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۱۳/۹۶	۱۱/۹۷	۱۲/۹	۲۰۸۰-۲۰۹۹	
			دوره پایه ۱۷/۸۹	
۱۹/۷۷	۱۹/۴۸	۱۹/۱۱	۲۰۱۱-۲۰۳۰	مهاباد
۱۷/۱۸	۱۷/۷۱	۱۶/۵۳	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۱۶/۶۳	۱۲/۷۴	۱۴/۸۷	۲۰۸۰-۲۰۹۹	
			دوره پایه ۱۴/۶۷	
۱۲/۸	۱۲/۷۱	۱۲/۴۹	۲۰۱۱-۲۰۳۰	ماکو
۱۱/۳۱	۱۱/۸۲	۱۰/۵۵	۲۰۴۶-۲۰۶۵	
۱۰/۹۷	۸/۶۴	۹/۴۸	۲۰۸۰-۲۰۹۹	

مقادیر I ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف محاسبه و استخراج گردیدند. جدول ۷ مقادیر این شاخص را نشان می‌دهد. باتوجه به این جدول ملاحظه می‌شود اقلیم منطقه در تمامی دوره‌ها و ایستگاه‌ها به

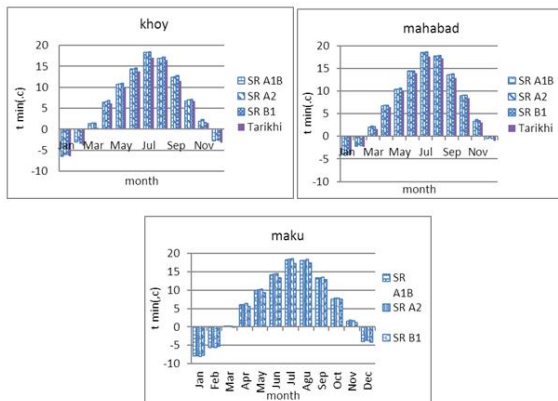
استثنای ایستگاه ارومیه تحت سناریوی A2 و ایستگاه ماکو تحت هر سه سناریو در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ که اقلیم خشک دارد، به صورت نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود.

نتیجه گیری

در این مطالعه به منظور ارزیابی تغییر اقلیم استان آذربایجان غربی در سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ بر روی ۴ ایستگاه سینوپتیک استان آذربایجان غربی، خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای A1B, A2, B1 ریز مقیاس شدند. ابتدا با اجرای مدل LARS-WG داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه در ۴ ایستگاه استان آذربایجان غربی شبیه‌سازی شد که نتایج حاکی از توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده می‌باشد. نتایج ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 و تحت سناریوهای A1B, A2, B1 در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد که در استان آذربایجان غربی میزان بارندگی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به غیر از ۳ ماه Des, Agu, Mar در هر ۳ سناریو و ماه‌های Sep, Jul در سناریوهای A1B و B1 در بقیه ماه‌ها و نیز در دوره‌های بعدی روند کاهشی دارد. دمای کمینه و بیشینه در تمام دوره‌ها و نیز هر ۳ سناریو روند افزایشی دارد.

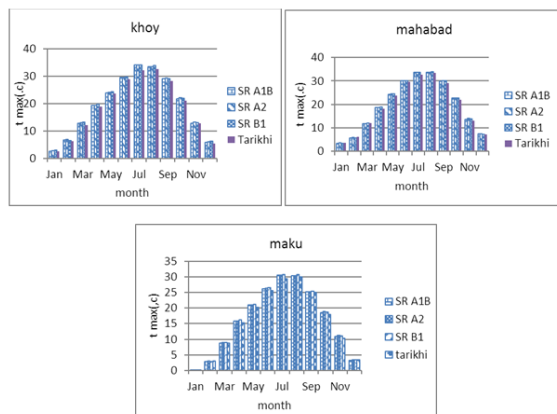
بررسی خشکسالی‌های استان در ۳ دوره بر اساس شاخص دمارتن نشان می‌دهد که اقلیم منطقه در تمامی دوره‌ها و ایستگاه‌ها به استثنای ایستگاه ارومیه تحت سناریوی A2 و ایستگاه ماکو تحت هر سه سناریو در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ که اقلیم خشک دارد، به صورت نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود.

در پایان با توجه به تغییرات پیش‌بینی شده که نشان از کاهش میزان بارندگی و افزایش دمای کمینه و بیشینه می‌باشد، وقوع تغییر اقلیم تقریباً قطعی است. لذا توجه به این امر لزوم برنامه‌ریزی در تمامی بخش‌ها اعم از کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، صنعت و... احساس می‌شود.



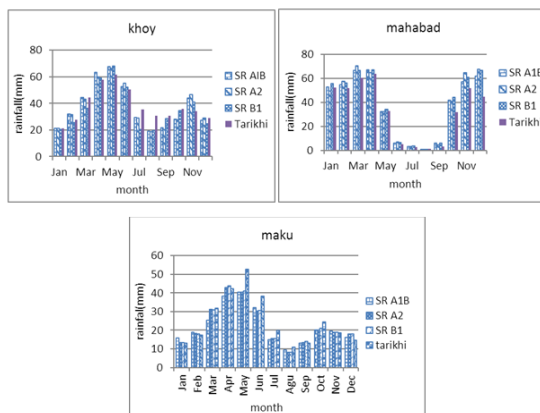
شکل ۵- مقایسه مقادیر مدل شده پارامتر دمای کمینه در ایستگاه‌های خوی، مه‌آباد، ماکو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده

از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای HADCM3



شکل ۶- مقایسه مقادیر مدل شده پارامتر دمای بیشینه در ایستگاه‌های خوی، مه‌آباد، ماکو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده

از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای HADCM3



شکل ۷- مقایسه مقادیر مدل شده پارامتر بارش ایستگاه‌های خوی، مه‌آباد، ماکو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از

ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای HADCM3

منابع

۱. اشرف، ب؛ موسوی بایگی، م؛ کمالی، غ؛ داوری، ک. (۱۳۹۰)، "پیش بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی): جلد ۲۵، شماره ۴، صفحات ۹۵۲-۹۴۰.
۲. بابائیان، الف؛ نجفی نیک، ز. (۱۳۸۵)، "بررسی تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ میلادی"، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. بابائیان، الف؛ نجفی نیک، ز؛ زایل عباسی، ف؛ حبیبی نوخندان، م؛ ادب، ح؛ ملبوسی، ش. (۱۳۸۸)، "ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G"، فصلنامه جغرافیا و توسعه: شماره ۱۶، صفحات ۱۵۲-۱۳۵.
۴. حیدری، ح؛ علیجانی، ب. (۱۳۷۸)، "طبقه بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیکهای آماری چند متغیره"، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۷-۷۴: ۳۷.
۵. رشیدی، م؛ غریب، ه. (۱۳۹۰)، "تغییرات اقلیم و اثرات آن بر منابع آب"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
۶. روشن، غ؛ خوش اخلاق، ف؛ عزیزی، ق. (۱۳۹۱)، "آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش بینی مقادیر دما و بارش ایران تحت شرایط گرمایش جهانی"، جغرافیا و توسعه، صفحات ۳۶-۱۹.
۷. شاه کرمی، ن؛ مرید، س؛ مساح بوانی، ع. (۱۳۹۰)، "ارزیابی اثرات و راهکارهای تطبیق با تغییر اقلیم با تأکید بر مدیریت جامع منابع آب در حوضه زاینده رود"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
۸. شیراوند، هنگامه، درگاهیان، فاطمه، لشنی زند، فاطمه، سپهوند، نورالدین ۱۳۸۹، بررسی روند دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان طی دهه‌های آتی براساس مدل LARS-WG، ۲۴-۲۳ آبان، دانشگاه شهید باهنر - اولین کنفرانس بین‌المللی مدل سازی گیاه و آب و خاک و هوا، کرمان.

۹. زرغامی، م؛ حسن‌زاده، ی؛ بابائیان، الف؛ کنعانی، ر. (۱۳۸۹)، "مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر رواناب حوضه‌های آبریز منتخب استان آذربایجان شرقی"، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی.

۱۰. عباسی، ف؛ ملبوسی، ش؛ بابائیان، الف؛ اثمیری، م؛ برهانی، ر. (۱۳۸۹)، "پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمای آماری خروجی مدل ECHO-G"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی): جلد ۲۴، شماره ۲، صفحات ۲۱۸-۲۳۳.

۱۱. عزیززاده، امین. (۱۳۸۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ سیزدهم.

۱۲. فخری، م؛ فرزانه، م؛ اسلامیان، س؛ ملبوسی، ش. (۱۳۸۹)، تحلیل عدم قطعیت روش کوچک مقیاس کردن آماری، به منظور پیش‌بینی دوره‌های خشک و تر آینده، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۳. فولاد، ف؛ مطیعی، ه؛ شریفان، ر الف؛ زمانی نوری، ع. (۱۳۹۰)، "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش و دما با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه کرج (سد امیرکبیر)"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران.

۱۴. کمال، ع؛ مساح بوانی، ع. (۱۳۹۰)، "تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژی"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران.

۱۵. مساح بوانی، ع؛ مرید، س. (۱۳۸۴)، "اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۹، شماره ۴، ص ۲۸-۱۷.

۱۶. واتقی، ر؛ مساح بوانی، ع؛ مشکواتی، الف، ح؛ رحیم‌زاده، ف. (۱۳۹۰)، "بررسی رواناب خروجی حوضه تحت تأثیر سناریوهای انتشار A2 و B1 با در نظر گرفتن اثر دسته جمعی مدل‌های AOGCM"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران.

17. Arnell, N.W, Livermore, M.J.L., Kovats, S., Levy, P.E., Nicholls, R., Parry, M.L., Gaffin, S.R. 2004. Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate

change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environmental Change*, 14(1): 3-20.

18. Babaeian, I, Kwon, W. T, and Im, E. S (2004) Application of Weather Generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab.

19. De Martonne E (1926) Aérisme et indice d'aridité. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 182, 1395-

20. 1398.

21. Elshamy M.E., Wheater H.S., Gedney N., and Huntingford C. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *journal of hydrology*, 326, 1-24.

22. IPCC. 1995. *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Cambridge University Press, 878 PP.

23. Mitchell T.D. 2003. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. *Climatic Change*, 60: 217-242.

24. Semenov M.A., and Barrow E.M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.

25. Semenov, M.A. and Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41(1): 1-14.

26. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R. 2012. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan. Iran. *Global and Planetary Change*, 78(3-4): 137-146.