

Evaluation of CSIRO and LARS WG data accuracy in simulating climatic variables of East Azerbaijan province

Ali panahi¹  | Farahnaz Khoramabadi² 

1. Professor, Department Geography Islamic Azad University

2. Graduated, Masters Science Urban climate, University of Tabriz, Tabriz

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received: 2022/5/8

Received: 2022/6/13

Accepted: 2022/7/26

Published: 2022/10/7

Keywords:

LARS WG Model

Change Operator

RCP85

East Azerbaijan

Abstract: Increasing greenhouse gases and subsequent global warming are among the factors leading to climate change which directly impact various aspects of human life. In the present study, the data of the fifth report of CSIRO models under three scenarios RCP8.5, RCP4.5 and RCP2.6 for the period spanning from 2020 to 2100. In addition, two LARS scaling methods WG and Delta method were used to simulate precipitation, minimum and maximum temperatures in East Azerbaijan province. In evaluating the LARS WG model, the error rate of simulation and under study data was evaluated using MSE, RMSE and MAE performance criteria as well as the coefficient of determination and correlation. The results showed that the model is able to predict maximum and minimum temperature parameters with high accuracy, but shows less accuracy in simulating precipitation in other variables. Also in Delta Method, the maximum and minimum temperatures are observed for all seasons with an increasing trend, while in the LARS WG model there is a decreasing trend in the target period (2020 2100) for all scenarios. In general, the difference between the operating modes and the LARS WG model for maximum and minimum temperature values in the next period, depending on the type of emission scenario, was obtained between 3.89, 6.33, 7.17 and 2.84. C, respectively. Rainfall will be decline in most seasons under the release scenarios compared to the LARS WG model.

Cite this article: panahi, A., Khoramabadi, F. (2022). Evaluation of CSIRO and LARS WG data accuracy in simulating climatic variables of East Azerbaijan province. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 1(2), 170-198.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





ارزیابی دقت داده‌های CSIRO و مدل LARS-WG در شبیه سازی

متغیرهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی

علی پناهی^۱ | فرحناز خرم آبادی^۲

۱. استادیار گروه جغرافیا، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۸

بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۴

انتشار: ۱۴۰۲/۷/۱۵

واژگان کلیدی:

خطا سنجی

مدل LARS-WG

تغییر عامل

RCP85

آذربایجان شرقی

چکیده: افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن گرمایش جهانی از جمله معضلاتی است که منجر به ایجاد پدیده تغییر اقلیم موثر بر زندگی بشر می‌گردد. در تحقیق حاضر از داده‌های گزارش پنجم مدل CSIRO تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ و همچنین از دو روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG و روش دلتا برای شبیه‌سازی بارش، دمای حداقل و حداکثر در استان آذربایجان شرقی استفاده شد و میزان خطای داده‌های واسنجی شبیه‌سازی با استفاده از معیارهای RMSE، MSE و MAE، ضریب تعیین و نیز همبستگی پرداخته شد. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به پیش‌بینی پارامترهای دمای حداکثر و حداقل بوده اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به سایر متغیرهای مورد نظر دقت کمتری را نشان می‌دهد. در روش دلتا، دمای حداکثر و حداقل برای تمامی فصول دارای روند افزایشی بود، در حالی که در مدل LARS-WG روند کاهشی در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰) برای تمام سناریوها دیده شد. عموماً اختلاف روش‌های عامل تغییر و مدل LARS-WG برای مقادیر دمای حداکثر و حداقل در دوره آتی بین ۳/۸۹، ۶/۵۳ و ۷/۱۷ و ۲/۸۴ درجه سانتی‌گراد حاصل گردید. میزان بارش در اکثر فصول تحت سناریوهای انتشار نسبت به مدل LARS-WG روند کاهشی داشت.

استناد: پناهی، علی، خرم آبادی، فرحناز (۱۴۰۱). ارزیابی دقت داده‌های CSIRO و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، (۲)، ۱۷۰-۱۹۸

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir



مقدمه

نشان می‌دهد در صورت ادامه روند مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن از ۲۸۰ در سال ۱۷۵۰ و ۳۷۹ در سال ۲۰۰۵ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ قسمت در میلیون تا پایان قرن ۲۱ برسد. در حالی که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، متوسط افزایش دمای سطحی کره زمین تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند به ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد رسیده و باعث پدیده تغییر اقلیم به‌ویژه در نیم‌کره شمالی شود (آرنل و همکاران: ۱۹۹۶) و (دیوداتو ۲۰۰۴: ۳۹۰). (سردا و همکاران، ۲۰۱۱: ۳). به این صورت که فصل تابستان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خشک‌تر و گرم‌تر شده و حجم آب و شدت جریان رواناب سطحی کاهش می‌یابد (بوویج، ۲۰۰۵: ۱۷۹). از جمله این موارد می‌توان به افزایش دما و سطح آب دریاها، تغییر در الگوهای آب‌وهوایی، گسترش آفات و بیماری‌های گرمسیری و اسیدی شدن اقیانوس‌ها و... اشاره کرد. بررسی روند دراز مدت متغیرهای اقلیمی می‌تواند دیدگاه بهتری را جهت برنامه‌ریزی‌های آینده

افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن گرمایش جهانی از جمله معضلاتی است که منجر به ایجاد پدیده تغییر اقلیم می‌گردد. این پدیده به‌طور مستقیم بر عوامل مختلف مرتبط با زندگی بشر تأثیرگذار است. اولین گام در بررسی این اثرات، تأثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیم است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم با ارائه گزارش‌های ویژه در مورد منابع مختلف عدم قطعیت تأثیرگذار بر مطالعات مرتبط با این موضوع، نقش مدل‌های AOGCM را مهم دانسته و پیشنهاد می‌نماید در مطالعات مختلف تأثیر منبع عدم قطعیت ناشی از مدل‌های AOGCM سناریوهای مختلف در نظر گرفته شود (اسلامیان و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۸۸).

بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱، از اوایل دوران صنعتی و به دلیل تغییر میزان گازهای گلخانه‌ای، دمای کره زمین در بین سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۰۶ به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته (چمورا^۲ و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۱۳۲) و رژیم بارندگی جهان تغییر کرده است. گزارش‌های این هیئت

بزرگ مقیاس پایه ریزی می‌نمایند. برتری اصلی این روش و دلیل انتخاب در این پژوهش، اقتصادی بودن، سادگی و سرعت بالا در فرآیند ریز مقیاس‌نمایی ناحیه‌ای می‌باشد (فاولر ۲۰۰۷: ۱۵۵۳). یکی از ضعف‌های مدل‌های AOGCM بزرگ‌مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها، به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه است. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب از دقت کافی برخوردار نیستند. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به این روش‌ها کوچک‌مقیاس کردن گفته می‌شود لذا در این مطالعه از مدل آماری LARS-WG استفاده گردید که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بر روی متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر توسط محققین انجام گردیده است. عبارت از:

چن و همکاران (۲۰۱۲: ۳۶) برای برآورد تعادل آب در حوضه هانجیانگ در چین با استفاده از داده‌های CGCM3 و

فراهم نمایند. به نظر می‌رسد که پنج عامل غلظت گازهای گلخانه‌ای، میزان ازن در استراتوسفر، افشانه‌ها در تروپوسفر، افشانه‌ها در استراتوسفر و فعالیت‌های خورشیدی (لکه‌های خورشیدی) عمده‌ترین عوامل برای توجیه تغییرات اقلیم در قرن اخیراً باشد (گودرزی و چوبه، ۱۳۹۸: ۶۳).

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM می‌باشد. این مدل‌ها تنها قادر به شبیه‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو در سطوح بزرگ هستند. لذا کوچک مقیاس کردن نتایج این مدل‌ها در مقیاس ایستگاهی ضروری است. در سال‌های اخیر از میان چهار دسته کلی روش‌های ریز مقیاس‌نمایی (ریز مقیاس‌سازی دینامیکی، دسته‌بندی سینوپتیکی، ایجاد داده‌های مصنوعی و روش‌های آماری) روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری، بیش‌تر از سایر روش‌های مورد توجه محققین قرار گرفته است. این روش‌ها کاهش مقیاس را مبتنی بر سابقه آماری و پیش‌بینی‌کننده‌های

سناریوی انتشار A2 استفاده شد. نتایج نشان داد اختلاف افزایش دما حاصل از هر دو روش در حوزه آبخیز رودخانه اعظم در آینده حدود ۳ تا ۴ درصد است. از سوی دیگر، با توجه به شرایط آب و هوایی، میزان بارندگی در کل حوزه آبخیز متغیر است، به گونه‌ای که حداکثر اختلاف بارش در آینده با دو روش (کوچک مقیاس کردن مکانی تناسبی و زمانی عامل تغییر) محاسبه شده در حدود ۳۰ درصد است. مسعود و همکاران، (۲۰۱۵) طی پژوهشی به مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی آبی حوضه (GBM) گنگ-براهماپوترا- مغنا در بنگلادش با استفاده از مدل‌های CMIP5 و GCMs و داده‌های (۲۰۰۳-۱۹۷۹) به پیش‌بینی افق نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۵) و افق دور (۲۰۹۹-۲۰۷۵) پرداختند. نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها نشان داد که در کل حوضه دما تا $^{\circ}C$ ۴۳ افزایش و میزان تبخیر نیز افزایش خواهد یافت که میزان افزایش تبخیر گنگ ۱۳/۶٪، برهماپوترا ۱۶/۴٪ و مغنا ۱۲/۹٪ خواهد بود. آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹)، به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رژیم دبی‌های حداکثر سالانه

HADCM3 و سناریوی A2 از مدل‌های ریز مقیاس SDSM و SSVM بهره گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که عملکرد SDSM بهتر از SSVM در ریز مقیاس نمایی بارش است.

فایسها و همکاران (۲۰۱۲: ۱) بارش و دمای حوضه رودخانه تیبر بالا را در مرکز ایتالیا با ریز مقیاس نمایی پیش‌بینی‌های HADCM3 با سناریوهای A2 و B2 و با استفاده از دومدل SDSM و LARS-WG برای چهار دوره سناریو، شامل اقلیم کنونی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بررسی ارزیابی کردند. نتیجه مدل SDSM در این مطالعه حکایت از افزایش روند کمینه، بیشینه دما و بارش تا پایان سال ۲۰۸۰ دارد.

گودرزی و همکاران (۲۰۱۵)، به ارزیابی عملکرد روش کوچک مقیاس کردن مکانی تناسبی و روش کوچک کردن زمانی عامل تغییر در پیش‌بینی تغییرپذیری آب‌وهوای آبراه رودخانه اعظم، واقع در استان یزد پرداختند، بدین منظور برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ از مدل CGCM3-AR4 تحت

نتایج تحقیق نشان داد که دما تقریباً ۱/۲ درجه افزایش خواهد داشت و در مورد بارش نیز افزایش مقدار پیش‌بینی می‌شود.

عباس‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)، تغییرات دمای بیشینه مدل CGCM3 را تحت سناریوهای A2، B2، A1B را با استفاده از مدل ریز مقیاس‌نمایی SDSM برای دو دوره آینده ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ بر روی ۷ ایستگاه به عنوان نماینده‌های آب و هوای انتخاب شده ایران شبیه‌سازی نموده و افزایش ۳ و ۳/۵ درجه سانتی‌گراد میانگین دمای بیشینه را گزارش کردند که برای سناریو A2 این تغییرات بیشتر از سایر سناریوها است.

یعقوبی و مساح‌بوانی (۱۳۹۵)، با استفاده از مدل LARS-WG خروجی‌های ۱۵ مدل گردش عمومی جو را برای کلیه سناریوها مستخرج شامل A1B، A2 و B1 برای حوضه هرات از توابع استان یزد بررسی نمودند. این تحقیق نشان داد که دمای هوا در اکثر ماه‌های سال به جز آوریل، ژوئیه، سپتامبر و دسامبر کاهش خواهد یافت. همچنین بر اساس نتایج موجود دما در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۵) افزایشی معادل

(شدت و فراوانی) حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی پرداختند. آن‌ها از مقادیر دما و بارش ماهانه مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و همچنین از روش کوچک‌مقیاس‌کردن مکانی تناسبی و روش کوچک‌کردن زمانی عامل‌تغییر، برای منطقه مورد مطالعه استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش ۱/۵ تا ۴/۰ درجه‌ای دما و تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارندگی دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۰-۱۹۷۱ دارد. به طوری که شدت دبی‌ها برای دوره بازگشت‌های تا ۵۰ سال تفاوت چندانی نکرده و با افزایش دوره بازگشت، شدت آن در دوره آتی افزایش خواهد یافت.

پورعلی و مساح‌بوانی (۱۳۹۲) به تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ پرداختند. در این تحقیق از داده‌های مشاهداتی ماهانه دما و بارش ۱۵ ایستگاه هواشناسی در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۲ و برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ به صورت ماهانه از مدل گردش عمومی جو- اقیانوس استفاده کرد.

تحت سه سناریوی، rcp45، rcp85 و rcp26 برای متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی در ایستگاه سینوپتیک کوه‌رنگ استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد روند افزایشی میانگین دمای روزانه در ماه اکتبر تا مارس و روند کاهش در ماه‌های آوریل تا سپتامبر در هر سه سناریو می‌باشد.

کاظم‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز آجی‌چای پرداخته است. در این پژوهش ابتدا تغییرات ناگهانی و روند متغیرهای هیدرو اقلیمی با استفاده از رویکرد داده‌کاوی و داده‌های ماهانه و سالانه ۱۸ ایستگاه آب‌سنجی و باران‌سنجی در دوره آماری (۱۳۵۱-۱۳۹۰) مطالعه شد. در گام دوم، برای مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز، خروجی بارش، دمای حداکثر و حداقل مدل گردش عمومی HadCM3 تحت دو سناریو تغییر اقلیم A2 و B2 با استفاده از مدل sdsms ریزمقیاس گردید. در گام نهایی از پنج مدل داده‌کاوی و هوشمند شامل MLP، SVM5، M5RULES و ANFIS جهت مدل‌سازی بارش

۰/۵ تا ۱/۶ درجه سلسیوس خواهد داشت.

اشرفی و همکاران (۱۳۹۶)، با به‌کارگیری مدل HadCM3 که به روش آماری ریزمقیاس شده بود اقدام به پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی برای ۲۰ سال آتی نمودند. در این تحقیق داده‌های مدل مذکور توسط مدل LARS-WG تحت ۳ سناریو A1B، A2، B1 ریزمقیاس شدند و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت.

شرقی و همکاران (۱۳۹۶)، به شناسایی اثرات تغییر اقلیم بر روی پارامترهای دما و بارش ایستگاه تبریز در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ با استفاده از مدل LARS-WG و روش عامل تغییر پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که در هر دو روش، دمای حداکثر و حداقل برای تمام فصول روند افزایشی در دوره آتی برای تمام سناریوها داشته است.

زارعی و همکاران (۱۳۹۷)، جهت بررسی اثر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در استان چهارمحال بختیاری از مدل گردش عمومی جو CanESM2

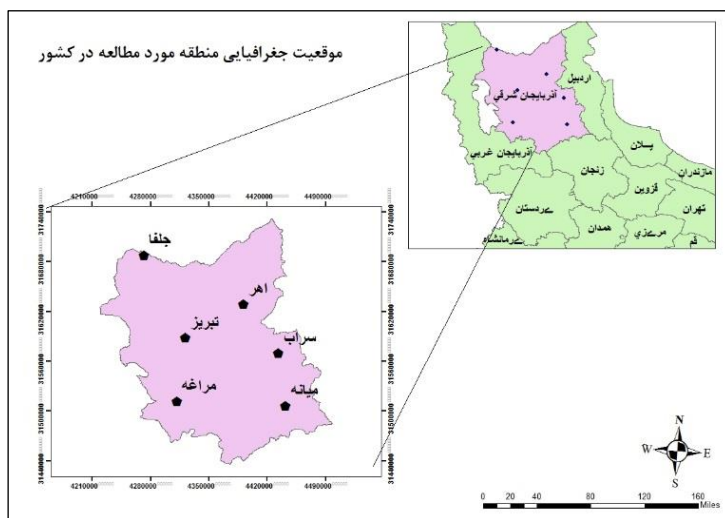
استان آذربایجان شرقی یکی از استان‌های ایران، واقع در گوشه شمال غرب کشور است که از نظر جغرافیایی در محدود ۴۵ درجه و هفت دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی، ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). آب‌وهوای استان به‌طور کلی سرد و خشک است، ولی به علت توپوگرافیکی، اقلیم‌های متفاوتی دارد (سازمان حفاظت محیط‌زیست). از نظر تقسیمات حوزه‌های آبریز، حوزه‌های ارس، سفید رود-قرزل‌اوزن و دریاچه ارومیه پهنه استان را پوشش می‌دهند و بیشترین مساحت استان در محدوده حوزه دریاچه ارومیه قرار گرفته است (بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران).

رواناب استفاده کرد. نتایج پژوهش نشان داد که متغیرهای اقلیمی در طول چهار دهه گذشته دارای تغییرات ناگهانی و روند بوده و مطالعه اثر تغییر اقلیم و استفاده از سناریوی تغییر اقلیم در منطقه مطالعاتی بر جریان آب رودخانه آجی چای ضروری می‌باشد.

در تحقیق حاضر از داده‌های گزارش پنجم مدل CSIRO با سناریوهای جدید نوع RCP برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ استفاده شده است ولی به دلیل به‌روز نشدن مدل LARS-WG برای سناریوهای جدید RCP استفاده از روش ریزمقیاس نمایی عامل تغییر یا دلتا می‌تواند مؤثر گردد.

۱- مواد و روش‌ها

۱-۱- منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی

۲-۲- داده ها

بررسی تغییرات متغیرهای پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی و درنهایت مقایسه روش‌های ریزمقیاس متغیرهای اقلیمی از طریق مدل LARS-WG و روش عامل تغییر انجام گرفت.

انتخاب ایستگاه‌های مناسب: برای انجام این پژوهش، داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

داده‌های دما و بارش از ایستگاه سازمان هواشناسی موجود در منطقه بین سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۸ برداشت شد تا داده‌های مشاهداتی اقلیمی منطقه، مورد تحلیل قرار گیرد و با پیش‌بینی‌های دوره آتی مقایسه شود.

۳-۱- روش‌ها

این پژوهش در شش مرحله اصلی، انتخاب ایستگاه‌های مناسب، بررسی صحت کیفیت داده‌های مورد استفاده، بررسی روند متغیرهای مورد مطالعه، ریزمقیاس سازی متغیرهای اقلیمی و

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی برداشت داده‌های دما و بارندگی

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
۱	مراغه			
۲	اهر	۳۸/۴	۴۷/۱	۱۳۹۰
۳	جلفا	۳۸/۷	۴۵/۷	۷۳۶
۴	میانه	۳۷/۴	۴۷/۷	۱۱۱۰
۵	سراب	۳۷/۹	۴۷/۵	۱۶۸۲
۶	تبریز	۳۸/۱	۴۶/۳	۱۳۶۱

بررسی صحت و کیفیت داده‌های مورد استفاده: پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، اقدام به بررسی صحت و کیفیت داده‌ها با استفاده از قابلیت نرم افزار CLIMGEN

پردازش شدند؛ به عبارت دیگر CLIMGEN یک مولد سناریوی آب‌وهوایی است که باهدف اجازه دادن به کاربران برای کشف برخی از ابهامات در تغییرات آب‌وهوایی آینده در مقیاس منطقه‌ای طراحی شده است. در برخی

پارامتری MANN-KENDAL و شیب سن به بررسی رفتار متغیرهای اقلیمی در منطقه مورد مطالعه پرداخته شد.

ریزمقیاس سازی متغیرهای اقلیمی: یکی از ضعف‌های مدل GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد؛ که در این تحقیق، از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس سازی داده‌های اقلیمی استفاده شد (racsko و همکاران، ۱۹۹۱). از جمله ورودی‌های این مدل می‌توان به بارش، دمای حداقل و حداکثر اشاره کرد. پس از اجرای مدل، اقدام به بررسی توانایی مدل شد. در این تحقیق، به منظور بررسی عملکرد مدل از پنج روش آزمون‌های آماری، عوامل آماری R، R2، MAE، RMSE و NSE (در ادامه روش چگونگی محاسبه آن‌ها توضیح داده می‌شود) و همچنین از میانگین سالانه متغیرهای مورد بررسی استفاده شد.

انتخاب مدل‌های GCM و سناریوی انتشار آن‌ها

امروزه تهیه و استخراج داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی قابل دسترس

مورد، ممکن است اطلاعات گذشته چنین متغیرهای در دسترس نباشد یا ناقص، یا طولانی مدت نباشد و یا فقط به صورت ماهانه موجود باشند. مولدهای آب و هوا ابزار عملی برای دور زدن این مشکلات هستند (کو و همکاران، ۲۰۰۷) (محمدخورشید دوست و همکاران ۱۳۹۶: ۱۸۱).

بررسی روند داده‌های اقلیمی مورداستفاده در دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۷): یکی از روش‌های متداول برای تحلیل سری زمانی عناصر اقلیمی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی عناصر اقلیمی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی و طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (brooks و carrthers، ۱۹۵۳).

به طور متداول فرآیندهای هیدرولوژیکی به صورت فرآیندهای ایستا در نظر گرفته می‌شوند هرچند که مدارک زیادی در مورد وجود روندها و تغییرپذیری بلندمدت وجود دارد که ممکن است، به دلیل فعالیت‌های انسانی و عوارض طبیعی سامانه‌های اقلیمی باشد (jan و lall، ۲۰۰۰). لذا با استفاده از روش نا

امکان پذیر نیست، بنابراین سناریوهای مختلفی که دربرگیرنده تغییرات این گازها در آینده می باشند به نام سناریوهای انتشار نامیده می شوند. گزارش پنجم IPCC از خط سیرهای تراکم استفاده می کند که هرکدام یکی از سناریوهای انتشار را نشان می دهند و مجموعه جدیدی از سناریوها هستند که جایگزین گزارش ویژه سناریو انتشار (SRES) می شوند این خطوط سیر شامل RCP85، RCP45 و RCP26 هستند که شمارهها مربوط به شدت واداشت تابشی هر یک از RCP ها می باشد (فامیر، ۲۰۱۵: ۱۱۵). شایان ذکر است که بر اساس این مدل و سناریوهای ذکر شده، داده های اقلیمی برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ در نظر گرفته شده اند که اطلاعات کلی این مدل همراه موسسه تحقیقاتی آن و همچنین مشخصات سناریوهای RCP در جدول ۲ آورده شده است.

است. یکی از این مراکز که در ایران بیشتر مورد توجه قرار گرفته سایت (<http://cera-www.dkrz.de/>) است. این سایت امکان استخراج داده های شبیه سازی شده CMIP5 را (که در گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییر اقلیم از این مدل ها استفاده شده) در اختیار پژوهشگران قرار می دهد. باید در نظر داشت که قدرت تفکیک مدل های اقلیمی مختلف و در حقیقت طول و عرض جغرافیایی سلولی که ایستگاه مورد نظر در آن قرار گرفته با یکدیگر متفاوت است. از بین شصت و یک مدل اقلیمی که در گزارش ارزیابی پنجم به کار رفته است، CSIRO-MK3-6-0 طراحی شده در سازمان علم و تحقیقاتی صنعتی همسود استرالیا مورد انتخاب قرار گرفت. از آنجاکه مهم ترین ورودی مدل های اقلیمی میزان انتشار گازهای گلخانه ای در دوره های آتی بوده و از طرفی میزان انتشار این گازها به طور قطعی

جدول ۱- ویژگی های مدل های گردش عمومی جو و سناریوهای تغییر اقلیم

نام مدل	موسسه تحقیقاتی تدوین کننده مدل ها	قدرت تفکیک
CSIR-MK-3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIR), Australia	$1/1875^{\circ}$ / $1/186^{\circ}$
سناریوها	RCP 8.5: شدیدترین آن ها که واداشت تابشی آن به مقدار بیشتر از ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد	

RCP 4.5: واداشت تابشی آن به ۴/۵ وات بر مترمربع می‌رسد که بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند
RCP 2,6: حداکثر واداشت تابشی قبل از سال ۲۱۰۰ به ۳ وات بر مترمربع می‌رسد سپس کاهش می‌یابد

به دست آوردن سری زمانی سناریوهای اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (۱۹۸۷-۲۰۱۸) افزوده می‌گردد:

(۱)

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}GCM, Fut, i}{\bar{P}GCM, Base, i} \right)$$

(۲)

$$\Delta T_i = (\bar{T}GCM, Fut - \bar{T}GCM, Base, i)$$

(۳)

$$P = P_{Obs} \times \left(\frac{\bar{P}GCM, Fut, i}{\bar{P}GCM, Base, i} \right)$$

(۴)

$$T = T_{Obs} + (\bar{T}GCM, Fut - \bar{T}GCM, Base, i)$$

در روابط بالا ΔP_i بیانگر سناریو تغییر اقلیم برای دوره ۳۰ ساله برای هرماه، i تعداد ماه‌های یک سال و $GCM, Fut, i, <i < 1$ و $\bar{P}GCM, Base, i$ به ترتیب ۳۰ ساله داده‌های بارش شبیه‌سازی شده GCM دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰) و دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸)، P_{Obs} بارش مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸) P بارش پیش‌بینی در دوره آتی

نوشتن سناریوهای Lars-WG جهت

استفاده از سناریوهای انتشار جدید

یکی از ساده‌ترین این روش‌ها به‌کارگیری روش عامل تغییر یا روش دلتا است بخصوص به دلیل این که برخی مولدهای آب‌وهوایی نظیر LARS-WG هنوز برای سناریوهای RCP به‌روزرسانی نشده‌اند این روش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. عامل تغییر یا دلتا نسبت بین شبیه‌سازی‌های اقلیم آتی به اقلیم حاضر مدل گردش عمومی (GCM) است. روش کار بدین گونه است برای محاسبه مقدار دلتای مربوط به بارش هریک از ۱۲ ماه سال، میانگین هریک از ماه‌های اقلیم آینده به میانگین ماه مشابه در اقلیم پایه تقسیم می‌گردد (رابطه ۱). در قسمت سناریو فایل مدل (*sce) نوشته می‌شود. همچنین برای دما مورد ذکر شده صادق است با این تفاوت که این نسبت به‌صورت اختلاف (رابطه ۲) است و ضمن آنکه از این روش برای زیر مقیاس نمایی هم می‌توان استفاده کرد که برای

شبه‌سازی 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.

۳- یافته‌ها و نتایج

بررسی روند متغیرهای اقلیمی در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸): به‌منظور نشان دادن تغییرات ناگهانی از تدریجی در سری‌های زمانی بارش، دمای حداقل و حداکثر سالانه آذربایجان شرقی؛ از الگوهای زمانی آزمون روند من‌کندال و شیب سن از طریق نرم‌افزار Minitab استفاده شده است. لذا با بررسی این آماره‌ها در جدول ۳، می‌توان رفتار متغیر بارش در طول دوره آماری (۲۰۱۸-۱۹۸۷) در آزمون من-کندال و شیب سن فقط ایستگاه مراغه در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنی دارا می‌باشد. و همچنین در سایر ایستگاه‌ها مورد مطالعه دارای روند نزولی غیر معنی‌داری است. از بین ایستگاه‌های مورد مطالعه متغیر دمای حداقل ایستگاه سراب در آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند افزایشی است؛ متغیر دمای حداکثر ایستگاه تبریز در سطح اطمینان ۹۰ درصد دارای آهنگ افزایشی می‌باشد.

موردنظر و همچنین برای دما موارد ذکر شده بالا صادق است.

در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) (رابطه‌های ۵ تا ۹) در محیط نرم‌افزار MINITAB اقدام به ارزیابی داده‌های تولیدشده توسط مدل در دوره پایه و مقایسه آن‌ها با داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) گردید.

(۵)

$$R = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (۷)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y)}{n} \quad (۸)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (۹)$$

که در آن‌ها X_i و Y_i به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده‌شده) و

میانه دارای آهنگ کاهش معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش و نتایج مشابهی که سایر محققان به آن دست یافته‌اند، نشان‌دهنده ناپایداری اقلیم و تغییرات آن می‌باشد (محمدی و تقوی ۱۳۸۶) (سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۵).

در صورتی که آزمون شیب سن، در سایر ایستگاه‌ها به غیر از مراغه دارای روند صعودی در سطح اطمینان ۹۵ درصد را در متغیر دمای حداقل نشان می‌دهد. در متغیر دمای حداکثر فقط ایستگاه تبریز دارای روند تغییرات افزایشی در سطح اطمینان ۹۰ درصد است و همچنین ایستگاه‌های مراغه، جلفا و

جدول ۳- نتایج بررسی روند متغیرهای اقلیمی از آزمون من-کندال و تخمین گر سن

سال	توضیحات	دما حداقل			دما حداکثر			بارش
		من-کندال		من-کندال		من-کندال		
		شیب سن	Q	شیب سن	Q	شیب سن	Q	
		p-value	Z	p-value	Z	p-value	Z	
	سراب	۰/۰۲	۱/۹۹	۰/۰۱	۱/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۲۴۸
	اهر	۰/۴۹۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۱۹۱
	جلفا	۰/۵۵۸	۰/۱۴۵	۰/۰۰	۱/۲۱۶	۰/۸۸	۰/۱۶	۰/۶۱۵
	مراغه	۰/۵۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰	۰/۲۷۵	۰/۶۰۸	۰/۰۰	۱/۷۵
	میانه	۰/۱۹۵	۰/۸۵۹	۰/۰۰	۰/۵۳	۰/۷۰۳	۰/۰۰	۰/۱۳۷
	تبریز	۰/۱۵	۱/۰۲	۰/۰۰	۱/۶۷	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۵۷۳

تولید شد. پس از تولید سری‌های روزانه مدل LARS-WG اجرا گردید. سپس آنالیز داده‌های اقلیمی برای متغیرهای اقلیمی مورد بررسی شبیه‌سازی گردیدند. در ادامه نتایج حاصل به صورت نمودارهای آماری بررسی و میزان

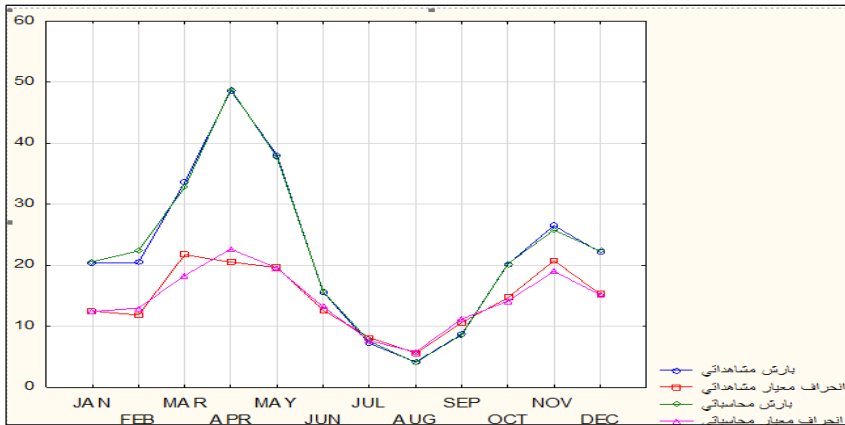
تجزیه و تحلیل مقایسه نتایج داده‌های مدل و مشاهداتی

پس از انتخاب ایستگاه‌های مناسب، داده‌های بارش آن‌ها بررسی و داده‌های پرت حذف شدند. در مرحله بعد سری روزانه پارامتر اقلیمی بارش تنظیم و

مدل سازی شده نیز در ماه های آوریل و نوامبر با اختلاف بیشتری بیش از داده های دیده بانی مدل سازی شده است و در ماه های فوریه، مارس، جولای و دسامبر انحراف معیار مشاهداتی و مدل سازی باهم برابر هستند. ولی بر اساس نتایج آزمون تی استیو دنت در سطح ۹۹٪ به طور کلی داده های مدل سازی و مشاهداتی در تطابق قابل قبولی با یکدیگر بوده اند.

انطباق داده های مشاهداتی و داده های محاسباتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نمودار بارش ماهانه مشاهداتی و مدل سازی شده و انحراف معیار آن ها در ایستگاه های آذربایجان شرقی طی دوره دیده بانی ۱۹۸۷-۲۰۱۸ در شکل ۲ آورده شده است. بر اساس شکل ۲ بارش در ماه فوریه بیش از داده های دیده بانی برآورد شده اند و انحراف معیار

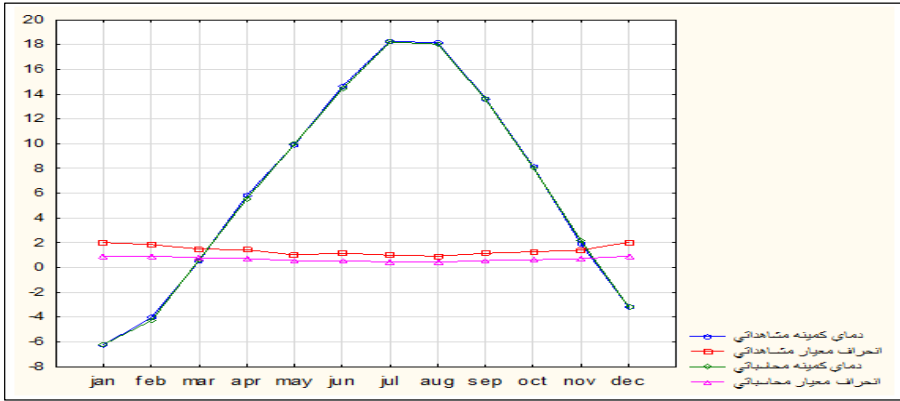


شکل ۲- مقایسه بارش دوره آماری با بارش محاسباتی برای دوره مشاهداتی آذربایجان شرقی (۱۹۸۷-۲۰۱۸)

داده های تولیدی مدل در این متغیر نیز با داده های مشاهداتی دوره دیده بانی تأیید شده است. در این متغیر نیز تنها اندکی تفاوت در انحراف معیارهای دو گروه داده وجود دارد، به طوری در سه ماهه اول سال و ماه دسامبر انحراف معیار داده های تولیدی توسط مدل با

همچنین، همان طور که در شکل ۳ نیز مشخص شده است، مدل لارس توان بسیار بالایی در مدل سازی میانگین ماهانه دمای کمینه در ایستگاه های آذربایجان شرقی داشته است، به طوری که بر اساس آزمون آماری تی استیو دنت در سطح ۹۹٪ تطابق میان

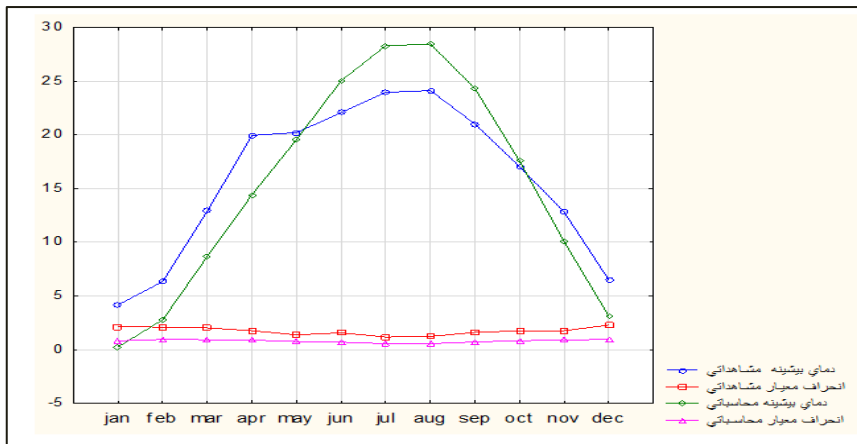
اختلاف بیشتری از داده‌های مشاهداتی
کمتز بوده و در سایر ماه‌های سال،
اختلاف میان این مقادیر بسیار اندک
می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه دما کمینه دوره آماری با بارش محاسباتی برای دوره مشاهداتی آذربایجان شرقی (۱۹۸۷-۲۰۱۸)

هواشناسی این می‌باشد که در اکثر موارد انحراف معیار مقادیر مدل‌سازی شده خصوصاً در مورد حداکثر دما کمتر از انحراف معیار مشاهداتی است که این موضوع بایستی در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم با استفاده از تولید داده توسط این مدل، مدنظر قرار گیرد و انحراف معیار داده‌های مدل‌سازی شده با روش‌های آماری اصلاح گردد.

در شکل ۴ نمودار حداکثر ماهانه مشاهداتی و مدل‌سازی شده و انحراف معیار آن‌ها در ایستگاه‌های در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۸ نشان داده شده است. با توجه به آزمون تی اسیتودنت در هیچ ماه از سال اختلاف بین مقدار مدل‌سازی شده و مشاهداتی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نیست؛ بنابراین یکی از ضعف‌های مدل لارس در تولید داده‌های



شکل ۴- مقایسه بارش دوره آماری با دمای بیشینه محاسباتی برای دوره مشاهداتی آذربایجان شرقی (۱۹۸۷-۲۰۱۸)

نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸) در جدول (۴) نشان داده شده است. صحت مدل با شاخص MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE بیانگر میانگین انحراف می‌باشد. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. MBE برابر صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده و در آن هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. مربعات

خطا (RMSE) کمتر باشد صحت روش بیشتر است. از نظر تئوری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند نمایانگر این است که مقدار تخمین زده شده یک کمیت دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است؛ ضریب تعیین و ضریب همبستگی نیز میزان نزدیکی و عدم اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است می‌باشد که هرچه مقدار آن به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نتایج حاصل مطلوب‌تر است. بدین صورت می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه‌های تبریز و اهر در شبیه‌سازی بارش، دمای حداکثر و حداقل از دقت مناسب‌تری نسبت به دیگر ایستگاه‌های مورد نظر برخوردار است، در حالی که دیگر ایستگاه‌ها در پیش‌بینی بارش ضعیف‌تر عمل نموده

نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸) در جدول (۴) نشان داده شده است. صحت مدل با شاخص MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE بیانگر میانگین انحراف می‌باشد. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. MBE برابر صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده و در آن هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. مربعات

است. در مجموع براساس شاخص‌های دمایی نسبت به بارش موفق‌تر عمل فوق مدل در شبیه‌سازی متغیرهای

جدول ۴- اعتبارسنجی ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸) با استفاده از

آماره‌های واسنجی

MAE	MBE	RMSE	R ²	R	ایستگاه	متغیر اقلیمی
۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱۳	مراغه	دمای کمینه
۰/۰۰۱	۰/۰۳۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱۵	اهر	
۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱۶	جلفا	
۰/۰۰۷	۰/۰۹۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷۰	میانه	
۰/۰۳۶	۲/۷۷۵	۰/۰۰۲	۰/۰۹۲	۰/۳۰۳	سراب	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۰	تبریز	
۰/۰۰۴	۰/۰۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۲۵	مراغه	دمای بیشینه
۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۱	اهر	
۰/۰۲	۰/۱۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۲	-۰/۱۴۷	جلفا	
۰/۰۰۹	۰/۰۴۴	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۶۶	میانه	
۰/۰۲۳	۰/۱۴۸۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶	۰/۱۶۲	سراب	
۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۱	تبریز	
۴/۵۴۳	۱/۷۰۵	۳۹/۱۰	۰/۱۱۵	-۰/۳۴۰	مراغه	بارش
۰/۵۱۲	۰/۵۴۷	۰/۱۷۲	۰/۰۰	۰/۰۳	اهر	
۱/۲۹۹	۰/۶۴۷	۳/۳۴۹	۰/۰۰۹	۰/۰۹۷	جلفا	
۴/۳۲۴	۱/۵۸۰	۳۸/۸۳۵	۰/۰۶	-۰/۲۴۹	میانه	
۰/۳۱۱	۰/۱۳۴	۰/۲۱۳	۰/۰۰	۰/۰۲۱	سراب	
۰/۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰۸	۰/۰۹۲	تبریز	

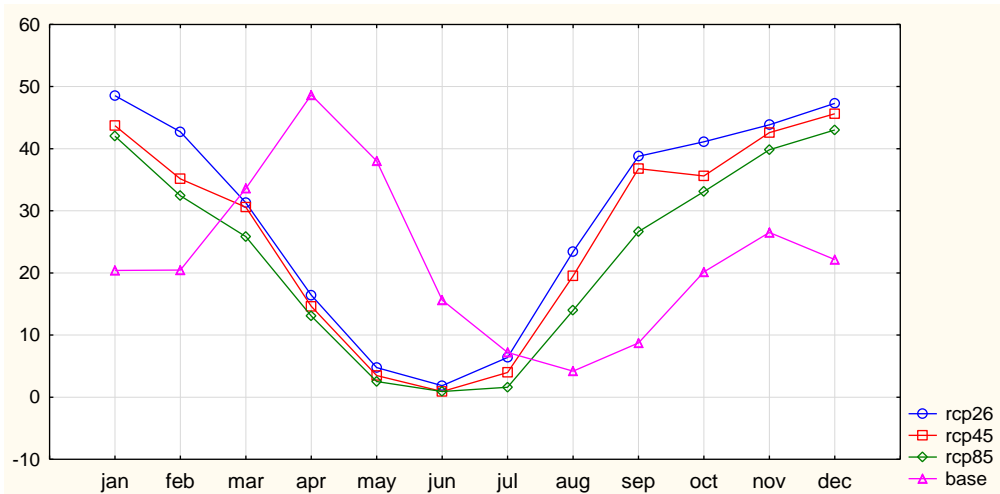
سانتی‌گراد) و در دوره پیش‌بینی ۲۰۱۹-۲۱۰۰ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۱۸ به ترتیب شکل‌های ۵ تا ۷ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل (۵) ملاحظه می‌شود میزان بارش در فصل زمستان

در ادامه نتایج حاصل از مدل LARS-WG بر مبنای سناریوهای انتشار RCP26، RCP45 و RCP85 مدل CSIRO برای متغیرهای بارش (میلی‌متر) دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) و دمای حداکثر (درجه

را نسبت به دوره پایه بیشتر و برخی نیز کم‌تر (بخصوص فصل بهار) نشان می‌دهند. با این حال می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر افزایش در دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ در ماه ژانویه تحت سناریو RCP26 به میزان ۲۸/۱۱ میلی‌متر و بیشترین کاهش در اواخر فصل بهار به خصوص ماه ژوئن تحت سناریو RCP85 به میزان ۱۴/۶۹ میلی‌متر است.

(دسامبر، ژانویه و فوریه) بر اساس مدل CSIRO تحت همه سناریوها در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است و همچنین از فصل تابستان و پاییز بخصوص ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر در همه سناریوها افزایش داشته است. در ماه‌های دیگر سناریو مختلف در تخمین میزان تغییرات بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه هماهنگ نبوده و برخی سناریوها بارش دوره آتی



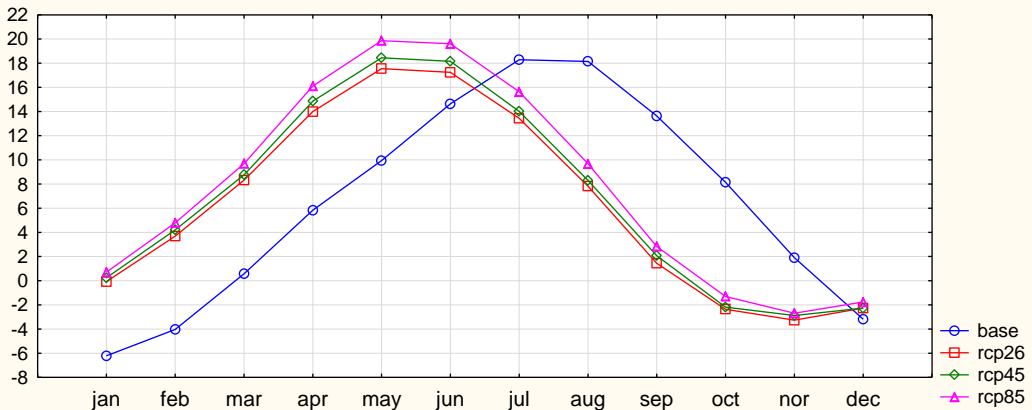
شکل ۵- مقایسه میانگین ماهانه بارش در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

در سه سناریو RCP26، RCP45 و RCP85 کاهش داشته است). بیشترین افزایش در این دوره متعلق به ماه ژوئن مارس به میزان ۱۹/۶۰ و ۱۹/۸۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو RCP85 می‌باشد. همچنین با توجه به

با نگاهی به تغییرات میانگین حداقل دما در شکل (۶) مشاهده می‌شود که دمای شبیه‌سازی در دوره آتی نسبت به دوره پایه در تمام سناریوهای انتشار در ماه‌های روند افزایشی داشته است (البته به‌جز ماه‌های دسامبر، نوامبر و اکتبر که

همین جهت می‌توان گفت این سناریو توانسته مقادیر بالایی از دمای حداقل را در تمام ماه‌ها نسبت به سناریوهای دیگر پیش‌بینی کند.

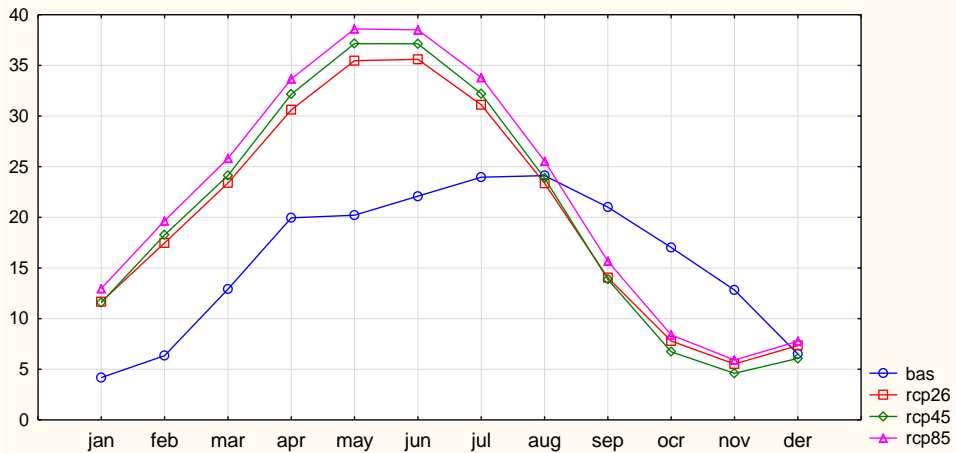
اینکه سناریو RCP85 شدیدترین واداشت تابشی را نسبت به سناریوهای دیگر دارد (که مقدار آن حدود ۸/۵ وات بر مترمربع تا سال ۲۱۰۰ می‌رسد)، به



شکل ۶- مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

حداقل ارزیابی گردید. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دمای متوسط ایستگاه‌های آذربایجان شرقی در ۱۰۰ سال آینده دور از انتظار نیست. همچنین نتایج تغییرات فصول متغیرهای اقلیمی نشان داد که بارش در اکثر فصل پاییز تحت سناریوها روند افزایشی داشته است. باین حال دمای حداقل و حداکثر در فصل‌های سال نیز روند افزایشی دارد که در فصل بهار و تابستان این تغییرات شدیدتر است.

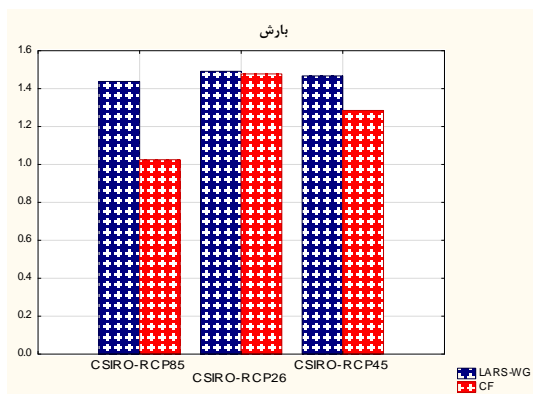
بر اساس نتایج به دست آمده در شکل (۷)، دمای حداکثر نسبت در دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ در تمام ماه‌های سال افزایش می‌یابد (به جز ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر تحت سناریو RCP45 که کاهش محسوسی داشت). بیشترین افزایش دمای حداکثر نسبت به دوره پایه جولای و به میزان در ماه می ۱۸/۴۰ (RCP85) درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی در اکثر ماه‌های سال تغییرات دمای حداکثر بیشتر از دمای



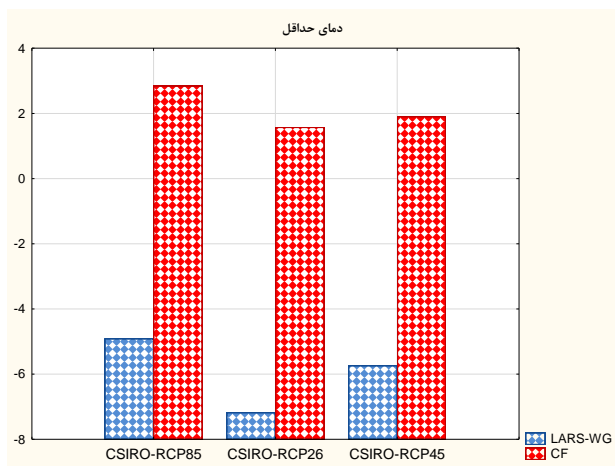
شکل ۷- مقایسه میانگین ماهانه دمای حداکثر در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۸) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

دوره آتی افزایش می‌یابد (البته به‌جز سناریو RCP8.5 در دوره داده‌های حداکثر شبیه‌سازی‌شده در روش عامل تغییر برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ مشابه با مدل LARS-WG در همه ماه‌های سال کاهش می‌یابد ولی مقادیر به‌دست‌آمده از این روش در مقایسه با مدل LARS-WG در همه ماه‌ها، میزان افزایش بیشتری داشته است. به‌طورکلی می‌توان که اختلاف دمای حداقل در هر دو روش بسته به نوع سناریو انتشار بین ۷/۱۷- تا ۲/۸۴ درجه سانتی‌گراد است که این اختلاف در دمای حداکثر بین ۳/۸۹- تا ۶/۵۳ درجه سانتی‌گراد حاصل گردید (شکل ۸).

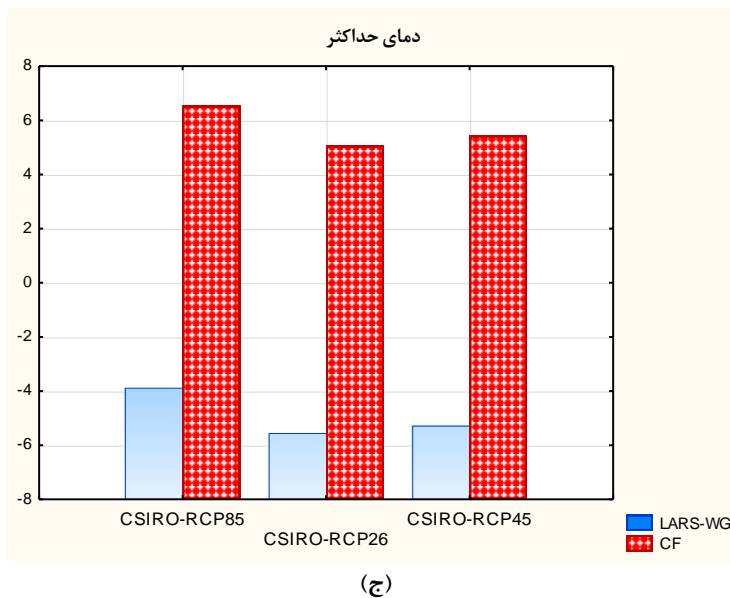
در روش عامل تغییر نیز سناریوهای اقلیمی آینده برای متغیرهای بارش و دما و با استفاده از روابط ۱ و ۲ ارزیابی شد ولی به دلیل عدم تکرار، از آوردن نتایج حاصل از این روش برای میانگین ماهانه صرف نظر شده است و همچنین با توجه حجم زیاد نمودارها، در اینجا به نمودار مربوط به ایستگاه تبریز اکتفا شده است؛ اما نتایج به‌دست‌آمده از این روش برای تغییرات میانگین سالانه متغیر در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی در مقایسه با مدل LARS-WG نشان داد که روش عامل تغییر در همه تغییر در همه سناریوها تغییرات بیشتری داشته است. در حالت کلی در هر دو روش تغییرات سالانه بارش در



(الف)



(ب)



شکل (۸). مقایسه میانگین تغییرات سالانه مدل LARS-WG و روش عامل تغییر دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ (الف) بارش، (ب) حداقل دما، (ج) حداکثر دما

نتیجه‌گیری

اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که برطبق شواهد موجود در اثر تغییر مقدار گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های بشری در حال تغییر است. از طریق پیش‌بینی و بررسی میزان تغییرات پارامترهای هواشناسی در آینده می‌توان راهکارهای مناسب برای کاهش اثرات مخرب پدیده تغییر اقلیم را اتخاذ نمود. یکی از معتبرترین روش‌ها برای ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)

است. در این مطالعه از مدل LARS-WG و روش عامل تغییر یا دلتا برای ریز مقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی CSIRO تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آتی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ ایستگاه‌های مورد نظر در استان آذربایجان شرقی استفاده شد؛ که نتایج حاکی از توانمندی خوب مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی است؛ که براساس شاخص‌های خطاسنجی مدل ریز گردانی مورد بررسی کارایی مناسب و قابل قبولی در

سناریو RCP8.5 در دوره داده‌های (CSIRO). از آنجایی که از بین‌گازهای گلخانه‌گاز CO2 بیشترین سهم را در واداشت تابشی دارد (که ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد) و سناریو RCP8.5 بیشترین واداشت تابشی را نسبت به سناریوهای دیگر دارد، به همین جهت نتایج این سناریو مقادیر بالایی از دمای حداکثر و دمای حداقل را نسبت به سناریوهای دیگر ارزیابی کرده است (میزان بارش در این سناریو خیلی کمتر از سناریوهای دیگر می‌باشد)؛ که این امر می‌تواند افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش‌های برفی و افزایش بارش‌های رگباری و سیل آسا را به دنبال داشته باشد که این امر هم می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی حوضه و نیز افزایش خسارات ناشی از وقوع بارش‌های رگباری و نیز شسته شدن خاک‌های حاصلخیز را به دنبال داشته باشد که با نتایج مسعود و همکاران (۲۰۱۵)، آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹) و پورعلی و مساح بوانی (۱۳۹۲) مطابقت دارد. لذا تأکید و توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و آبخوان داری و تقویت مراتع برای کاهش اثرات ناشی از بارش‌های سیل آسا مفید

شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در منطقه مورد مطالعه دارد و در بیش‌بینی متغیرهای دمایی از عملکرد بهتری نسبت به بارش برخوردار است. ضمن آنکه به دلیل به روز نشدن مدل LARS-WG برای سناریوهای نوع جدید RCP، از روش عامل تغییر برای نوشتن سناریوهای اقلیمی در قسمت سناریو فایل مدل استفاده گردید. تغییرات مقادیر بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰) با دوره مشاهداتی (۱۹۸۷-۲۰۱۸) براساس دو روش مورد بررسی قرار گرفت که این تغییرات در روش عامل تغییر در مقایسه با مدل LARS-WG برای تمام پارامترهای اقلیمی از شدت بیشتری برخوردار بودند؛ که می‌توان گفت اختلاف دمای حداقل در هر دو روش بسته به نوع سناریو انتشار بین ۷/۱۷- تا ۲/۸۴ درجه سانتی‌گراد است که این اختلاف در دمای حداکثر بین ۳/۸۹- تا ۶/۵۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد؛ که با نتایج (کاظمی و همکاران ۱۳۹۸) و (شرقی و همکاران ۱۳۹۶) مطابقت می‌کند؛ و همچنین برای تغییرات سالانه بارش در هر دو روش در دوره آتی افزایش می‌یابد (البته به‌جز

می‌باشد. با افزایش میانگین دمای حداقل نیز، عملکرد برخی محصولات که در دوره رشد و محصول دهی نیاز به سرما دارند، کاهش می‌یابد. لذا با توجه به این که به دنبال تغییرات اقلیمی، شرایط اقلیم کشاورزی و همچنین منابع آبی و طبیعی دچار تغییر می‌گردند، لازم است مسئولین و برنامه‌ریزان مربوطه در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و منابع آب راهکارهای لازم برای کاهش پیامدهای و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید را اتخاذ نمایند.

- منابع**
- اشرفی واثقی، ر. مسام بوانی، غ. مشکواتی، ا.خ. رحیم زاده، ف (۱۳۹۰). بررسی رواناب حوضه تحت تأثیر سناریوهای انتشار A2 و B1 با در نظر گرفتن اثر دسته‌جمعی (ensemble) مدل‌های AOGCM، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران، <http://www.irimo.ir/>
- زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ عطاله، ابراهیمی؛ جعفری، محمد؛ ملکیان، آرش؛ (۱۳۹۷)، بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری، نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال دوازدهم، شماره ۴: صص ۴۲۶-۴۳۶
- طائی سمیرمی، سیاوش؛ مرادی، حمیدرضا؛ خداقلی، مرتضی؛ (۱۳۹۴)، پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریز مقیاس‌سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف، پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۷، شماره ۲، صص ۱۴۵-۱۵۶
- آشفته، سادات پریسا؛ مساح بوانی، علیرضا؛ (۱۳۸۹)، تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی، سال چهاردهم، شماره ۵۳، صص ۲۵-۳۹
- کاظم‌زاده، مجید؛ ملکیان، آرش؛ مقدم‌نیا، علیرضا؛ خلیقی سیگارودی، شهرام؛ (۱۳۹۸)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آجی چای)، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سیزدهم، شماره ۴۵، صص ۱ تا ۱۲
- محمدخورشیددوست، علی؛ رسولی، علی اکبر؛ زنگنه، سعید؛ (۱۳۹۷)، مدل‌سازی و روندیابی شاخص‌های حدی دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه، مجله مخاطرات محیطی طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، صص ۱۷۶-۱۹۶

- کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه محقق اردبیلی، صص ۱-۱۰.
- Arnell, N.W., and Reynard, N.S. 1996. The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain. *J. Hydrol.* 183: 397-424.
- Booij, M.J. 2005. Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. *J. Hydrol.* 303: 176-198
- Brooks, C.E.P. and N. Carrthers. 1953. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255(1): 107-122.
- Chen, Hua, Xu, Chong-Yu, Guo, Shenglian, 2012, Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff, *Journal of Hydrology* pp 36–45.
- downscaling model (SDSM) at selected stations of Iran.
- محمدی، حسین؛ تقوی، تقوی؛ (۱۳۸۵)، روند شاص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۱۵۱-۱۷۲
- یعقوبی، م. و مساح بوانی، ع. ۱۳۹۴. مقایسه و ارزیابی منابع مختلف عدم قطعیت در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه رودخانه اعظم- هرات یزد)، تحقیقات منابع آب، ۱۱ (۳): ۱۱۳-۱۳۰.
- عباس نیا، محسن؛ طاوسی، تقی؛ خسروی، محمود؛ توروس، حسین؛ (۱۳۹۵)، تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر روزانه بر روی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۹۷، صص ۳۱-۴۵
- شرقی، الناز؛ نورانی، وحید؛ آقایی لاهرودی، فرشاد؛ (۱۳۹۶)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم روی پارامترهای دما و بارش ایستگاه تبریز در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ با استفاده از مدل LARS-WG و روش عامل تغییر، شانزدهمین

- Farmer, G.T., 2015. Modern climate change science: an overview of today's climate change science. Springer.
- Fiseha B. M, Melesse A.M, Romano E, Volpi E. and Fiori A.(2012), Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Central Italy, International Journal of Water Sciences, vole 1, pp 1-14 17.
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C., 2007, Linking climate change modeling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrologic modeling, International Journal of Climatology, 27: 1547-1578.
- Goodarzi, e; Dastorani, M; Massah Bavani, A; and Talebi, A; (2015); Evaluation of the Change-Factor and LARS-WG Methods of Downscaling for Simulation of Climatic Variables in the Future(Case study: Herat Azam Modeling Earth Systems and Environment, 2(2), pp.-۱7.
- Chmura, D.J., Anderson, P.D., Howe, G.T., Harrington, C.A., Halofsky, J.E., Peterson, D.L., Shaw, D.C., and Clair, J.B. 2011. Forest responses to climate change in the northwestern United States: Ecophysiological foundations for adaptive management. Forest Ecology and Management. 261: 7. 1121-1142.
- Diodato, N. 2004. Local models for rainstorm induced hazard analysis on Mediterranean river torrential geomorphological systems. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 4: 389-397
- Eslamian, S.S. Khordadi, M.J. and Abedi-Koupai, J. 2011. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. Global and Planetary Change, 78(3-4), 188-194.

- (2015) Model study of the impacts of future climate change on the hydrology of Ganges–Brahmaputra–Meghna basi
- Racsco, P., L. Szeidl and M. Semenov. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57(1): 27-41
 - Sereda, J., Bogard, M., Hudson, J., Helps, D., and Dessouki, T. 2011. Climate warming and the onset of salinization: Rapid changes in the limnology of two Northern Plains lakes. *Limnologica*. 41: 1-9
 - Watershed, Yazd - Iran).J. *ECOPERSIA*.3: 833-846
 - Jain, S. and U. Lall. 2000. Magnitude and timing of annual maximum floods trends and large-scale climatic associations for the Blacksmith Fork River, Utah. *Water Resources Research*, 36(12): 3641-3641
 - Kou, X.Ge, J., Wang, Y., & Zhang, C., (2007), Validation of the weather generator CLIGEN with daily precipitation data from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 347(3), pp: 347-357.
 - M. Masood, P. J.-F. Yeh, N. Hanasaki, and K. Takeuchi