

بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با

کاربرد مدل LARS-WG

مریم دوستی^{۱*}، محمود حبیب‌نژاد روشن^۲، کاکا شاهدی^۳ و میرحسین میریعقوب‌زاده^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

^۳ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

^۴ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه مازندران، ایران

(دریافت: ۹۲/۱/۲۶، پذیرش نهایی: ۹۲/۷/۱۶)

چکیده

گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم، از جمله مسائلی هستند که امروزه توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده‌اند. یکی از روش‌های معتبر برای بررسی پدیده تغییر اقلیم، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) است. به علت تفکیک فضایی کم برخی پدیده‌های ریزمقیاس در مدل‌های گردش عمومی جو، این مدل‌ها نمی‌توانند تقریب درستی از شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد بررسی به دست دهند؛ لذا باید خروجی آنها تا حد ایستگاه هواشناسی، ریزمقیاس شود. در این تحقیق یک نوع از مدل‌های (GCM) تحت عنوان HADCM3 در دوره سال‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ به کار گرفته شد. برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در حوضه تمر استان گلستان داده‌های مدل HADCM3 با استفاده از مدل LARS-WG تحت دو سناریوی A2 و A1B ریزمقیاس شدند. نتایج نشان داد که میانگین دما با در نظر گرفتن سناریوی A2، ۲/۴۸ درجه سلسیوس و با در نظر گرفتن سناریوی A1B، ۲/۴۳ درجه افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج نشان از افزایش ۱۶٪ بارش در سناریوی A2 و ۲٪ بارش در سناریوی A1B، در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ دارد. همین‌طور میزان ساعت‌های آفتابی در دوره بررسی و با در نظر گرفتن هر دو سناریو کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس‌نمایی، مدل گردش عمومی جو، LARS-WG، تمر، استان گلستان

Study of climate indices of Tamar River basin Golestan Province in terms of climate change using by LARS-WG model

Dousti, M.¹, Habibnezhad Roshan, M.², Shahedi, K.³ and Miryaghoubzade, M. H.⁴

¹Graduated M.Sc. Student, Department of Watershed, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Iran

²Associate of Professor, Department of Watershed, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Iran

³Assistant Professor, Department of Watershed, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Iran

⁴Ph.D. Student in the field of watershed management and engineering, University of Mazandaran, Iran

(Received: 15 Apr 2013, Accepted: 08 Oct 2013)

Summary

Global warming caused by human activity and climate change is one of the issues attracted that has attention of many climate scientists. The relationship between climate parameters should be used in climate change studies to understand the complex nature of the environment and predict changes in the future. The reliable tool to investigate climate change effects on different systems is using the climate simulations by coupled general circulation of atmosphere and ocean. These models are capable to model the oceanic and

atmospheric parameters for a long time period using IPCC scenarios. Due to the low spatial resolution of down scaled phenomena, in general circulation climate models, these models cannot provide accurately approximation of climate conditions of study areas. Therefore, outputs of these models should be down scale to weather station.

The use of statistical methods especially when lower cost and faster assessment of climatic factors is required, have more advantages and capabilities. These models downscale the large scale circulation data by using outputs of GSM models and applying specific scenarios that produce climate data. In this study a type of GCM model as HADCM3 for the period 2046-2065 was used. To simulate climatic parameters in Tamar Basin, the HADCM3 data downscaled using LARS-WG mode under A2 and A1B scenarios. Tamar river basin is located in Golestan Province north-east of Iran that have 1525.3 km² area. There are a few climatology and rain gauges in Tamar river basin. Most of these gauges except Tamar station that have more than 40 years precipitation and temperature data have short inventory period data (15 years rainfall data and 8 temperature data). According to the International organization WMO standards which at least thirty years considered as reference period, therefore, in this study the Tamar climatology data that were recorded for 30 years were used. For this purpose the temperature and rainfall data of Tamar station In a 30-year period (1981-2011) Was extracted. Due to the lack of sunshine data in stations, the Maravehtappe synoptic data, located at 30 km from the centre of the basin, was used. According to the Tamar basin area and variation in hypsometry of basin and also Tamar station located at outlet of basin, the rainfall and temperature data collected in this station cannot present the whole of basin changes. To solve the mentioned problem the temperature data was generalized for the whole of basin using a gradient equation with the differences between altitude of the station and the average altitude of the basin. The rainfall data also after the hydrologic processing, was transferred to the average altitude of basin using gradient equation. So the 30 day data in the month was randomly selected and the minimum and the maximum temperature data based on Tamar, Rebat-e-Ghrabil and Cheshmekhan station that located at the outside of the basin was extracted. Also the rainfall data of Tamar station with Tangrah, Rebat-e-Gharabil and cheshmekhan that are located at the outside of the basin were used. Then according to the obtained data, the gradient related to 30 days for each year was plotted, and a relationship was obtained. Totally, 2700 gradient relationship for 30 year also for maximum and minimum temperature and rainfall data were generated. Then, 30 gradient relationships for the maximum temperature and the minimum temperature and the rainfall data were selected with the gradient relationship of each year with higher correlation coefficient. Then the gradient relationship for each year and according to the highest percentage of watershed area that was located in the same altitude of centroid of the basin was acquired. Maximum and minimum temperature data for each year were moved to the center of the basin and data corresponding to the height of centroid the basin for log to climate models were obtained. In this study, in order to down scale of the atmospheric general circulation model data HADCM3, the LARS-WG model which is one of the weather generator models was used. To run this model in this research, calibration period was selected between 1981-2011, years then the model was run after preprocessing the input data. In the next step the model was assessed with NSE and RMSE and MAE indices.

Results show that the simulation data for this period are in good agreement with observation data. To evaluate climate fluctuations in the Tamar basin, general circulation model data were down scaled using LARS-WG model according to both A1B and A2 scenarios and thus the daily values of the parameters were generated. The results showed that the average temperature will increase under A2 scenario about 2.48 ° C and under

A1B scenario about 2.43 ° C. Meanwhile the maximum temperature change will be higher than the minimum temperature change. From this subject we can conclude that the changes (increases) in the average air temperature in the future will be most affected by the minimum temperature. The results show that 16% increase in precipitation under A2 scenario and 2% rainfall under A1B scenario during 2046-2065 periods. Also, sunshine hours in the study period will be reduced under both scenarios. The results indicate that for the A2 scenario has the highest emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide, higher temperatures and more rain are expected.

Keywords: Atmospheric general circulation model, Downscaling, LARS-WG, Tamar, Golestan Province

۱ مقدمه

کوچک‌مقیاس کردن عبارت‌انداز: روش استفاده از سلول اصلی یا روش تناسبی (Proportional Downscaling)، روش‌های آماری (Statistical Downscaling)، روش دینامیکی (Dynamical downscaling) (ویلیبی و هریس، ۲۰۰۶). روش تناسبی جزء روش‌های ساده در برگرداندن داده‌های بزرگ‌مقیاس است (پرودهوم و همکاران، ۲۰۰۲) که در آن اختلاف بین داده‌های دوره پایه و آتی GCM با روش عامل تغییر به مقادیر مشاهداتی اضافه می‌شود (دیز نیوت و ویلیبی، ۲۰۰۵؛ ویلیبی و همکاران، ۱۹۹۸). روش دینامیکی سلول بزرگ‌مقیاس را به سلول‌های کوچک‌تر تقسیم و با به کار بردن مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCM)، داده‌های مدل AOGCM را کوچک‌مقیاس می‌کند. باید توجه داشت که اولاً مدل‌های (RCM) برای همه کشورهای موجود نیست، و درثانی می‌بایست داده‌های این مدل‌ها نیز دوباره به صورت آماری کوچک‌مقیاس شوند (هویستون و کرنه، ۱۹۹۶). در روش‌های آماری می‌توان در عرض چند ثانیه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک جایگاه یا ایستگاه مشخص در چندین دهه عملی ساخت، درحالی‌که روش‌های دینامیکی معمولاً با محدودیت زمانی مواجه هستند (هویستون و کرنه، ۱۹۹۶). لذا استفاده از روش‌های آماری، به‌خصوص در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل موثر آب‌وهوایی، مورد نیاز باشد، مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری دارد (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹).

طبق آخرین گزارش هیئت میان‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش دمای کره زمین از اواسط نیمه دوم قرن بیستم شده است (IPCC، ۲۰۰۷). اگر روند افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو تغییر پیدا نکند، ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سلسیوس افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ پیش‌بینی می‌شود (IPCC، ۲۰۰۱). مهم‌ترین اثر تغییر اقلیم تاثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوئی و اقلیمی نظیر توفان، سیل، تگرگ، خشک‌سالی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸؛ آشفته و مساح بوانی، ۱۳۸۹). برای درک ماهیت پیچیده جوئی و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده باید از روابط کمی بین پارامترهای موثر استفاده شود. معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سامانه‌های گوناگون، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوئی-اقیانوسی است. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوئی و اقیانوسی را برای یک دوره بلندمدت با استفاده از سناریوهای تایید شده IPCC مدل‌سازی کنند (لانه و همکاران، ۱۹۹۹؛ میشل، ۲۰۰۳). برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک کم این مدل‌ها، لازم است که خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در تحقیقات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس شوند (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶). روش‌های متداول

چشمگیر جریان‌ها را نشان داد. کارآموز و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی به تعریف طرح تغییر اقلیم و اثر آن روی اجزای متفاوت چرخه آبی پرداختند و اثرات تغییر اقلیم را روی منابع آب در سه بخش اثرات مستقیم، غیر مستقیم و اثرات مخلوط مورد بررسی قرار دادند.

تغییر اقلیم فرایندی منحصر به عصر ما نیست و براساس شواهد موجود، کره زمین در دوران‌های متفاوت زمین‌شناسی همواره با چنین تغییراتی مواجه بوده است. آنچه تغییرات اقلیمی قرن حاضر و به ویژه در نیمه دوم این قرن را از تغییرات گذشته متمایز ساخته است، ماهیت و سرعت آن است؛ به طوری که این تغییرات شتاب بیشتری به خود گرفته است. بنابراین بسیار مهم است که تغییرات اقلیمی پیش‌بینی و پی‌آمدهای آن مورد بررسی قرار گیرد (هویدی و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیق حاضر از داده‌های دو سناریوی AIB و A2 مدل گردش عمومی جو HADCM3 برای پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه تهر استان گلستان در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵، با به‌کارگیری مدل LARS-WG استفاده شده است.

۲ مواد و روش‌ها

۱-۲ منطقه مورد بررسی

حوضه آبخیز تهر یکی از زیرحوضه‌های گرگان‌رود است که در استان گلستان واقع شده است. مساحت حوضه مورد بررسی ۱۵۲۵ کیلومتر مربع و از نظر جغرافیایی در محدوده ۲۴' ۳۷° تا ۴۹' ۳۷° عرض شمالی و ۲۹' ۵۵° تا ۴' ۵۶° طول شرقی قرار دارد. مرتفع‌ترین نقطه در منطقه خوش بیلاق در جنوب حوضه با ارتفاع ۲۰۹۸ متر و پست‌ترین نقطه محل سد گلستان ۲ با ارتفاع ۱۱۷ متر از سطح دریا است (محمدی استاد کلایه، ۱۳۸۱). مرکز گرانی حوضه از نظر جغرافیایی دارای عرض شمالی ۱۹' ۳۶' ۳۷° و طول شرقی ۰۴۶' ۵۵' ۴۷° است و در ارتفاع ۹۰۰ متری قرار دارد. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز

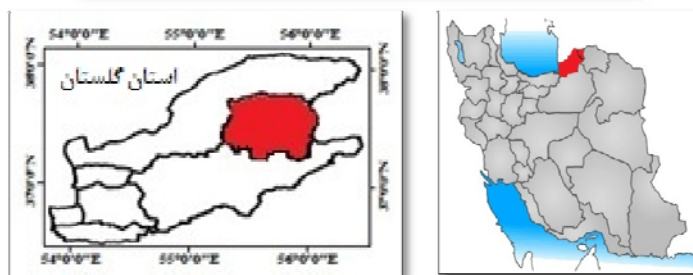
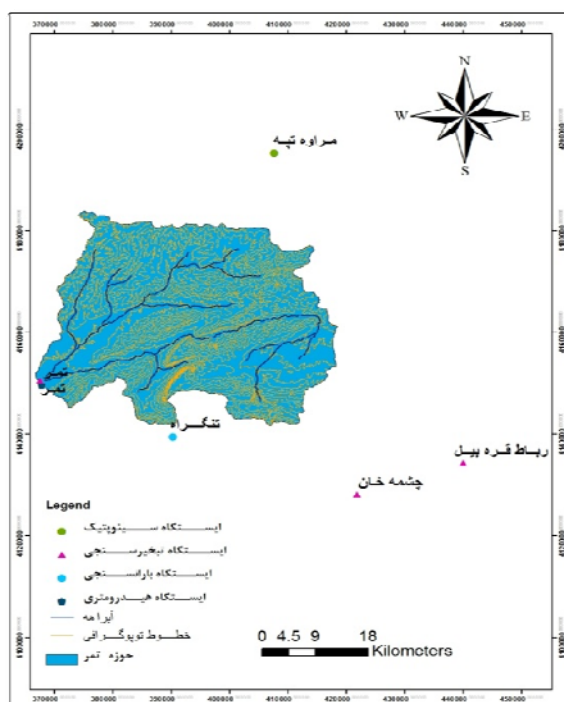
این مدل‌ها با استفاده از خروجی مدل‌های GCM و به‌کارگیری سناریوهای خاص مدل تولیدکننده داده‌های آب‌وهوایی، داده‌های گردش عمومی در مقیاس بزرگ را به مقیاس‌های ریزتر تبدیل می‌کنند (سیمونوف و بارو، ۲۰۰۲). امروزه استفاده از انواع مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری مانند، LARS-WG CLIMGEN, SDSM, MET & ROLL و مانند آن برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط گوناگون جهان معمول است و تحقیقات زیادی نیز در این زمینه صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ترامبلی و همکاران (۲۰۱۲) طی تحقیقی به بررسی اثر تغییر اقلیم روی واقعه رگبار در Morocco پرداختند. آنها در این تحقیق از سناریوی AIB و ۱۵ مدل RCM استفاده کردند. نتایج نشان داد در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بارش ۱۲٪ کاهش خواهد یافت. اما یک تغییرپذیری بزرگ و انحراف کمی بین مدل‌ها در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ یافت شد. سیمونوف (۲۰۰۸) در تحقیقی با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۰ ایستگاه در نقاط گوناگون دنیا با اقلیم‌های متفاوت توانایی مدل تولیدکننده جو LARS-WG را برای شبیه‌سازی رویدادهای جو مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که میانگین حداکثر سالانه و مقادیر دوره برگشت بارندگی مصنوعی روزانه در داخل فواصل اطمینان ۹۵٪ داده‌های مشاهداتی قرار گرفته‌اند، اما داده‌های دمای حداکثر روزانه با دقت کمتری تولید شده بودند. زرقامی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی اثر تغییر اقلیم را روی رواناب در استان آذربایجان غربی ایران با به‌کار بردن مدل اقلیمی HADCM3 و سناریوهای A2، A1B و B1 و مدل کاهش مقیاس LARS-WG و مدل هیدرولوژی شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دمای متوسط سالانه بالاتر از ۲/۳ درجه خواهد رفت و یک کاهش بارش سالانه ۳ درصدی از اواسط قرن اتفاق خواهد افتاد. نتایج همچنین تغییر اقلیم منطقه از نیمه‌خشک به خشک و همین‌طور کاهش

numbers) استفاده شد. این قانون بیان می‌کند که میانگین اعضای یک نمونه تصادفی از یک مجموعه بسیار بزرگ، مقداری نزدیک به مقدار میانگین کل مجموعه است (هاکینگ، ۱۹۸۳؛ شینین، ۲۰۰۵). بر این اساس در هر سال ۳۰ روز به‌طور تصادفی انتخاب شد و داده‌های دمای حداقل و حداکثر مربوط به روزهای انتخابی از بین آمارهای ایستگاه تمر و ایستگاه‌های رباط قره‌بیل و چشمه-خان که در خارج از حوضه و در ارتفاعات متفاوتی قرار دارند، استخراج شد. برای متغیر بارش از داده‌های آماری ایستگاه تمر و ایستگاه‌های تنگ‌راه، رباط قره‌بیل و چشمه‌خان در خارج از حوضه استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. سپس با توجه به داده‌های به‌دست آمده، گرادیان مربوط به ۳۰ روز در هر سال رسم شد و رابطه آن به‌دست آمد. در مجموع ۲۷۰۰ رابطه گرادیان برای ۳۰ سال و برای دماهای حداکثر و حداقل، و بارش تولید شد. سپس با بررسی گرادیان‌های مربوط به هر سال، بهترین رابطه گرادیان با ضریب همبستگی بالاتر برای هر سال انتخاب شد که در نهایت ۳۰ رابطه گرادیان برای دمای حداقل، ۳۰ رابطه گرادیان برای دمای حداکثر و ۳۰ رابطه گرادیان برای بارش انتخاب شد. سپس با توجه به رابطه گرادیان به‌دست آمده برای هر سال و با توجه به اینکه از نظر همبستگی بیشترین درصد مساحت حوضه در ارتفاعی برابر مرکز گرانی حوضه (۹۰۰ متر) قرار دارد، داده‌های مربوط به دمای حداقل و حداکثر هر سال به مرکز گرانی حوضه منتقل شد و داده‌های متناظر با ارتفاع مرکز گرانی برای ورود به مدل اقلیمی به‌دست آمدند. در این تحقیق به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG استفاده شده است. مشخصات مدل HADCM3 و سناریوهای A2 و A1B مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۳ آورده شده است.

تمر را در ایران و در استان گلستان نشان می‌دهد. در حوضه آبخیز تمر تعداد محدودی ایستگاه تبخیرسنجی و باران‌سنجی وجود دارد. اکثر این ایستگاه‌ها دارای طول آمار برداری کوتاه‌مدت هستند (حداکثر ۱۵ سال برای بارش و ۸ سال برای دما)، به‌جز ایستگاه تمر که دارای آمار ۴۰ ساله شامل داده‌های بارش و دمای روزانه است.

۲-۲ روش تحقیق

با توجه به معیار توصیه شده سازمان جهانی WMO (سیاری و همکاران، ۱۳۸۹) که حداقل باید یک دوره سی ساله به‌منزله دوره مرجع در نظر گرفته شود، بنابراین در این تحقیق از آمار ایستگاه تبخیرسنجی تمر استفاده شد که داده‌های مورد نیاز در یک دوره زمانی سی ساله را ثبت کرده است. بدین‌منظور داده‌های دما و بارش ایستگاه تمر در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰) استخراج شد. برای متغیر ساعت آفتابی با توجه به این نکته که حوضه مورد بررسی فاقد ایستگاهی است که ساعت آفتابی را ثبت کند، از داده‌های ایستگاه سینوپتیک مراوه‌تپه در خارج از حوضه (واقع در ۳۰ کیلومتری مرکز گرانی حوضه) استفاده کردیم. مشخصات ایستگاه تمر و ایستگاه مراوه‌تپه در جدول ۱ آورده شده است. برای متغیرهای دما و بارش با توجه به وسعت حوضه و تنوع ارتفاع بخش‌های گوناگون آن و اینکه ایستگاه مورد بررسی در خروجی حوضه قرار گرفته و دما و بارش آن نمی‌تواند گویای تغییرات کل منطقه باشد، با بررسی اختلاف رقوم این ایستگاه و رقوم متوسط حوضه تمر، با استفاده از گرادیان دمایی، داده‌های دمای مربوط به متوسط حوضه محاسبه شد. برای متغیر بارش نیز پس از تطویل و تکمیل داده‌های روزانه، بارندگی مربوط به متوسط حوضه از راه رسم گرادیان بارش و بررسی روابط بین آنها با لحاظ کردن رقوم ایستگاه تمر به رقوم متوسط حوضه به‌دست آمد. برای این کار از قانون عددهای بزرگ (Law of large



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز تمر و ایستگاه‌های مورد استفاده در استان گلستان و ایران.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه مورد استفاده در حوضه تمر.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تمر	تبخیرسنجی	۵۵-۳۰-۷.۶	۳۷-۲۹-۳۱	۱۳۲
مراوه تپه	سینوپتیک	۵۵-۵۷-۲۷.۹۵	۳۷-۵۴-۴۶.۷۰	۴۶۰

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در ایجاد گرادان‌های دما و بارش.

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تنگراه	بارانسنجی	۵۵-۴۴	۳۷-۳۹	۳۳۰
رباط قره بیل	تبخیرسنجی	۵۵-۱۸	۳۷-۲۱	۱۴۵۰
چشمه خان	تبخیرسنجی	۵۶-۰۷	۳۷-۱۸	۱۲۵۰

جدول ۳. ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم (IPCC, ۲۰۰۷).

نام مدل	گروه موسس	قدرت تفکیک	سناریوهای انتشار
HADCM3	UK Met, Office	3.75°×2.5°	A2, B1, A1B
سناریوها	A2	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و هم‌سو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان	
	A1B	رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری‌های نوین و موثر	

$$MAE = \frac{\sum |X_0 - X_S|}{N} \quad (۳)$$

در روابط بالا X_0 : داده‌های مشاهده‌ای، X_S : داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{X}_0 : میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد داده‌ها هستند.

۳ نتایج

بر اساس نتایج عملکرد مدل در مرحله ارزیابی (که این نتایج در جدول ۴ آورده شده است)، شبیه‌سازی دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش در تطابق بسیار خوبی با داده‌های مشاهداتی است. در بخش بارندگی اگرچه در نتایج شبیه‌سازی بعضی از ماه‌ها ضعف‌های اندکی وجود دارد اما در مجموع، براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۴، NSE برابر ۰/۸۵ و $RMSE$ برابر ۱/۰۲ است که نشان‌دهنده شبیه‌سازی به‌نسبت خوب بارش با مدل است. همچنین به‌منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی از آزمون آماری T-Student نیز استفاده شد (مشکاتی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج نشان داد در هیچ ماه از سال اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد.

در این تحقیق به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG که یکی از مدل‌های تصادفی وضع هوا است، استفاده شد. این مدل برای تولید مقادیر بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی تحت شرایط تغییر اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود (سیمونوف و بارو، ۲۰۰۲). تولید داده‌های LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارت‌انداز واسنجی کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. بر این اساس برای اجرای این مدل در تحقیق حاضر، پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه ۱۹۸۱-۲۰۱۱ اجرا شده و بدین ترتیب مرحله واسنجی به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از معیارهای ناش-ساتکلیف (NSE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که روابط آنها در ادامه آمده است، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده با مدل و داده‌های مشاهده‌ای در دوره پایه شد (جدول ۴).

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum (X_0 - X_S)^2}{\sum (X_0 - \bar{X}_0)^2} \right] \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_0 - X_S)^2}{N}} \quad (۲)$$

جدول ۴. نتایج عملکرد مرحله واسنجی و ارزیابی مدل LARS-WG

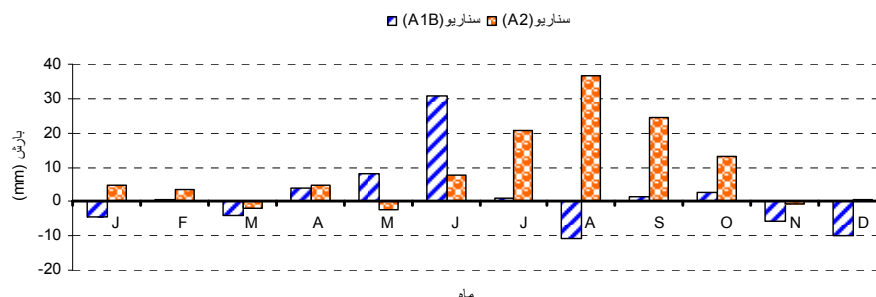
پارامترهای آماری	بارش (mm)	دمای حداقل (°c)	دمای حداکثر (°c)	ساعت آفتابی (h)
NSE	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
MAE	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰	۰
RMSE	۱/۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸	۰/۰۳۹

ماه‌های مارس، مه و نوامبر کاهش و در سایر ماه‌های سال افزایش خواهد داشت. بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه اوت و به میزان ۳۶/۵۴ میلی‌متر و بیشترین میزان کاهش در ماه مه و به میزان ۲/۵۲ میلی‌متر است.

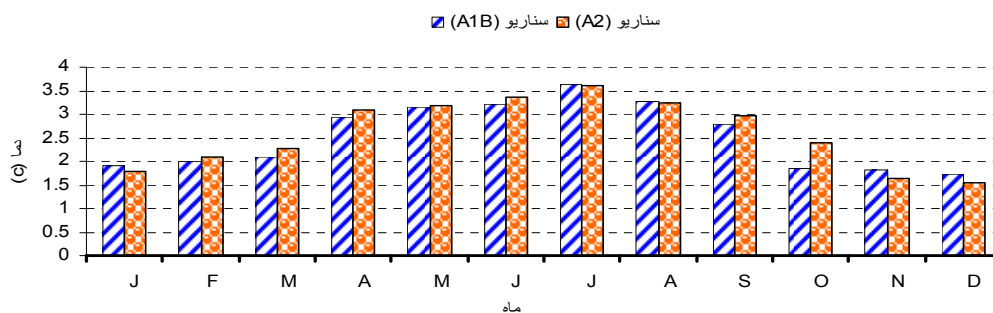
همچنین با در نظر گرفتن سناریو A1B، در ماه‌های ژانویه، مارس، اوت، نوامبر و دسامبر کاهش بارش و در باقی ماه‌های سال افزایش بارندگی را خواهیم داشت. بیشترین افزایش بارش در ماه ژوئن و به میزان ۳۰/۶۷ و بیشترین کاهش مربوط به ماه اوت و به میزان ۱۰/۷۷ میلی‌متر است.

همچنین بر اساس نتایج شکل ۳ مشخص می‌شود که در هر دو سناریو دمای حداقل در همه ماه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش متعلق به ماه ژوئیه و به میزان ۳/۶۲ درجه سلسیوس در سناریوی A2 و ۳/۶۴ درجه سلسیوس در سناریو A1B است.

در ادامه برای ارزیابی نوسانات اقلیمی در حوضه تمر، مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده‌های مصنوعی با استفاده از سناریوهای A2 و A1B اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای پیش‌گفته تولید شد. در مرحله بعد خروجی مدل (داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی در دوره‌های آتی) میانگین‌گیری شده و نرمال ماهانه و فصلی پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت بررسی بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم ذکر شده به‌دست آمد و نمودارهای مربوط رسم شد. همچنین مقادیر تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی نیز در جدول ۵ آورده شده است. با نگاهی به تغییرات ماهانه بارندگی در شکل ۲ مشاهده می‌شود که بر اساس برآورد مدل، میزان بارندگی با در نظر گرفتن سناریو A2 در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵، در



شکل ۲. پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش حوزه تمر در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵.



شکل ۳. پیش‌بینی تغییرات ماهانه دمای حداقل حوزه تمر در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵.

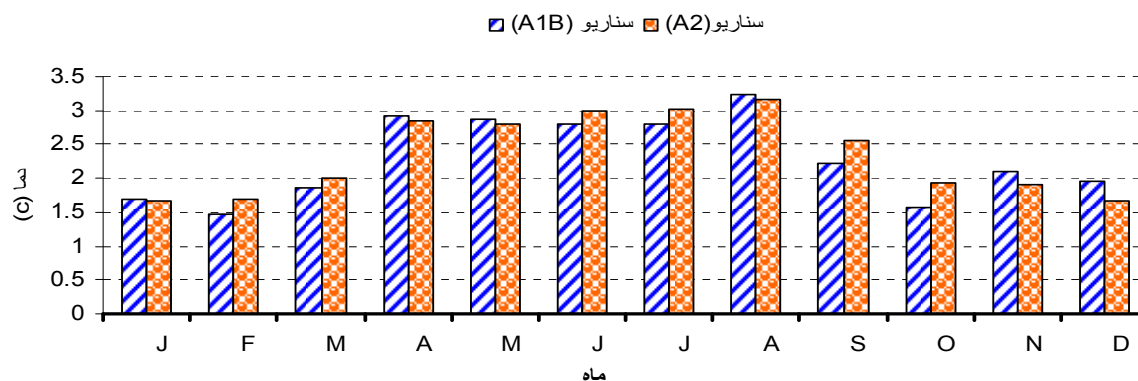
نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و در سناریو A2 میزان بارش در همه فصل‌ها افزایش خواهد یافت (شکل ۶-الف). بیشترین افزایش در فصل تابستان و به میزان ۲۷/۲۴ میلی‌متر است. همچنین با توجه به سناریو A1B در همه فصل‌ها به‌جز فصل بهار، بارندگی روند کاهشی دارا است. بیشترین میزان کاهش در به فصل پاییز و به میزان ۴/۳۲ میلی‌متر است. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود در هر دو سناریو دمای حداقل در همه فصل‌ها افزایش خواهد یافت (شکل ۶-ب). بیشترین افزایش در فصل تابستان و به میزان ۳/۲۸ سلسیوس برای سناریو A2 و ۳/۲۳ سلسیوس برای سناریو A1B است. همچنین نتایج حاکی از آن است که با در نظر گرفتن هر دو سناریو، دمای حداکثر در همه فصل‌ها افزایش خواهد یافت (شکل ۶-ج). بیشترین افزایش در سناریو A2 در فصل تابستان و به میزان ۲/۹۲ سلسیوس و در سناریو A1B در فصل بهار و به میزان ۲/۸۶ درجه سلسیوس است. همچنین با توجه نتایج مشخص می‌شود که در سناریو A2 ساعت‌های آفتابی به‌جز در تابستان با ۰/۶۹ ساعت کاهش، و در باقی فصل‌ها افزایش خواهد یافت. همچنین با توجه به سناریو A1B ساعت آفتابی در فصل‌ها بهار و تابستان کاهش و در فصل‌ها پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت (شکل ۶-د).

بر اساس نتایج به‌دست آمده در شکل ۴ و با در نظر گرفتن سناریوی A2، دمای حداکثر در همه ماه‌ها افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش متعلق به ماه اوت با ۱/۱۶/۳ درجه سلسیوس است. همین‌طور کمترین میزان افزایش مربوط به ماه‌های ژانویه و دسامبر با ۱/۶۶ درجه سلسیوس است.

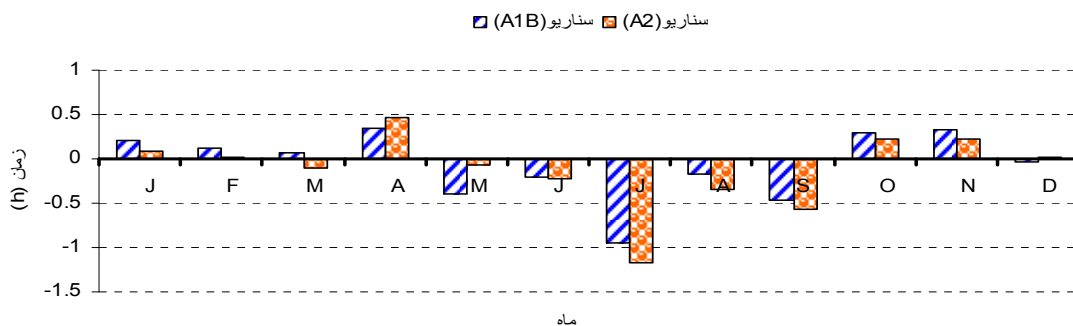
همچنین با در نظر گرفتن سناریو A1B نیز در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵، دمای حداکثر در همه ماه‌ها افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش در ماه اوت با ۳/۲۳ درجه سلسیوس و کمترین میزان افزایش مربوط به ماه فوریه با ۱/۴۸ درجه سلسیوس است.

بر اساس نتایج شکل ۵، مشخص می‌شود که برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با در نظر گرفتن هر دو سناریو، ساعت‌های آفتابی در ماه‌های مارس، مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر کاهش و در باقی ماه‌ها افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش در هر دو سناریو متعلق به ماه آوریل و به میزان ۰/۴۶ و ۰/۴ ساعت به‌ترتیب برای سناریوهای A2 و A1B است. همین‌طور بیشترین میزان کاهش مربوط به ماه ژوئیه به میزان ۱/۱۷ و ۱/۳۳ ساعت به‌ترتیب برای سناریوهای A2 و A1B است.

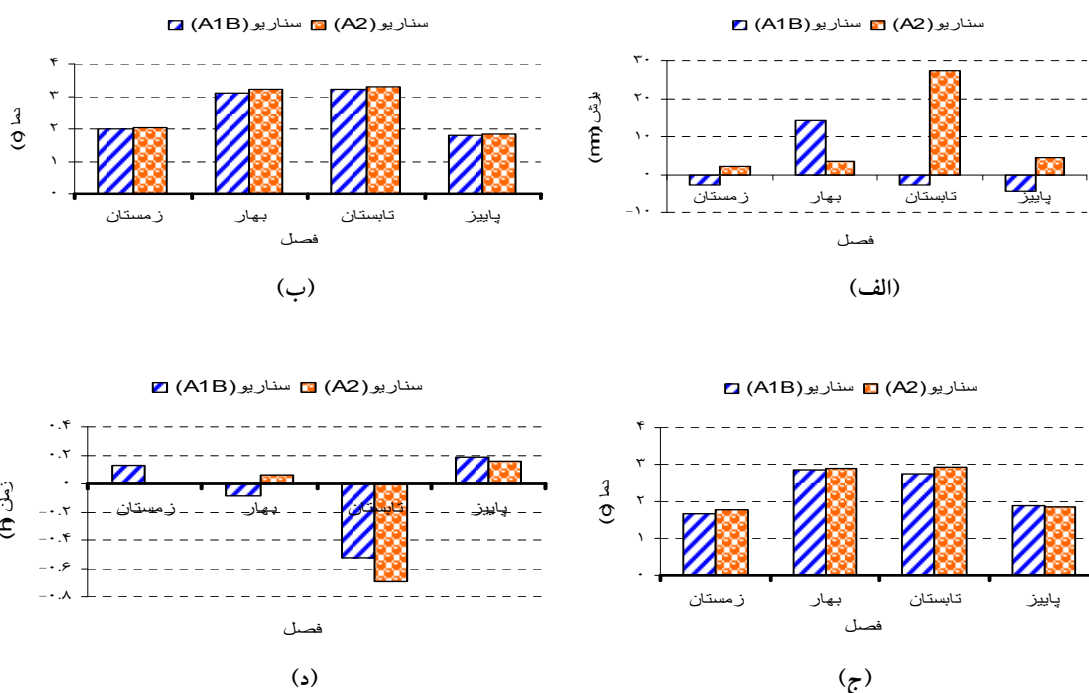
نتایج تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی حوزه تمر در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۴. پیش‌بینی تغییرات ماهانه دمای حداکثر حوزه تمر در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵.



شکل ۵. پیش‌بینی تغییرات ماهانه ساعت آفتابی در حوزه تمر در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶.



شکل ۶. پیش‌بینی تغییرات فصلی (الف) بارش، (ب) دمای کمینه، (ج) دمای بیشینه و (د) ساعت آفتابی حوزه تمر در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری سناریوهای مدل HADCM3.

جدول ۵. تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی حوزه تمر.

سناریو	بارش (mm)	دمای حداقل (C°)	دمای حداکثر (C°)	میانگین دما (C°)	ساعت آفتابی (h)
A2	۹/۲۸	۲/۵۹	۲/۳۵	۲/۴۸	-۰/۱۲
A1B	۱/۰۶	۲/۵۳	۲/۲۹	۲/۴۳	-۰/۰۷

آسمان است. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که سناریو A2 که دارای بیشترین انتشار در اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن است افزایش دما و بارش بیشتری را پیش‌بینی کرده است. تراکم بیش از

حد این گازها در جو منجر به وقوع پدیده گلخانه‌ای می‌شود. این گازها توانایی جذب انرژی گرمایی بازتابی از سطح زمین را دارند، لذا می‌توانند موجب افزایش جذب انرژی گرمایی در جو شوند و در نتیجه اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود (کاظمی‌زاد، ۱۳۸۶). همچنین به علت غلبه عامل دما در تبخیر، در مجموع میزان تبخیر افزایش خواهد یافت. افزایش دما و تبخیر حرکات همرفتی در خشکی را تشدید می‌کند و سبب بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت خواهد شد (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۶). همچنین گرم شدن آب‌وهوا، زمین را از راه‌های گوناگون به سمت خشکی خواهد برد. درجه حرارت زیاد، رطوبت خاک را بیشتر تبخیر می‌کند و موجب بحران می‌شود. با توجه به اینکه بخش وسیعی از حوضه مورد نظر دارای اقلیم نیمه‌خشک و خشک است، طبعاً اثرات گرم‌تر شدن هوا بر زیستگاه‌های آن مخرب‌تر خواهد بود. نتایج به دست آمده در این پژوهش موبد تحقیقات صورت گرفته کمال و مساح بوانی (۱۳۸۹)، اشرف و همکاران (۱۳۹۰) و آشفته و بوانی (۱۳۸۹) در سایر مناطق کشور است.

با توجه به این نتایج و با توجه به تغییراتی که در پارامترهای اقلیمی موجود روی خواهد، پیشنهاد می‌شود که مسئولان و برنامه‌ریزان منطقه مورد بررسی در بخش‌های کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، صنعت و اقتصاد راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب‌وهوایی جدید اتخاذ کنند.

مراجع

اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ. و داوری، ک.، ۱۳۹۰، پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای

همچنین با توجه به جدول ۵، مشخص می‌شود میانگین بارش سالانه در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و با توجه به هر دو سناریو افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش مربوط به سناریو A2 و به میزان ۹/۲۸ میلی‌متر است. میانگین دمای حداقل و حداکثر سالانه در هر دو سناریو افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش مربوط به سناریو A2 و به میزان ۲/۵۹ درجه سلسیوس برای دمای حداقل و ۲/۳۵ برای دمای حداکثر است. مشخص می‌شود که میانگین ساعت‌های آفتابی سالانه در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان کاهش مربوط به سناریو A2 و به میزان ۰/۱۲ ساعت است.

۴ بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 با دو سناریوی اقلیمی A2 و A1B در حوضه آبخیز تهر در استان گلستان استفاده شد. دوره مورد بررسی در این پژوهش سال‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بود، که تغییرات مقادیر بارش، دما و تابش دوره پیش‌بینی شده با مدل HADCM3 با دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۱) مقایسه شد. هر دو سناریو در زمینه پیش‌بینی دمای حوضه مورد بررسی پاسخ مشابهی را نشان دادند و افزایش دما را برای دوره مورد بررسی، پیش‌بینی کردند ($2/48\text{ }^{\circ}\text{C}$: A2 و $2/43\text{ }^{\circ}\text{C}$: A1B). ضمن آنکه که تغییرات دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه بیشتر خواهد بود. از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات (افزایش) دمای متوسط هوا در دوره آتی بیشتر تحت‌تأثیر افزایش دمای کمینه خواهد بود. همچنین نتایج نشان از افزایش ۱۶٪ بارش در سناریوی A2 و ۲٪ بارش در سناریوی A1B، دارد. همین‌طور نتایج نشان داد که میزان ساعت‌های آفتابی در دوره مورد بررسی و با در نظر گرفتن هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. این نتیجه نیز منطبق با افزایش بارندگی و به تبع آن افزایش آبرناکی

- زمین و نتایج آن، م. رشد آموزش زمین‌شناسی، ۲۹، ۲۲-۴۹.
- کمال، ع. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۹، تاثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی، نشریه آب و خاک، ۲۴، ۲۴-۹۲۰-۹۳۱.
- مشکاتی، ا.، کردجزی، م. و بابائیان، ا.، ۱۳۸۹، بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳، م. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶، ۸۱-۹۶.
- محمدی استاد کلایه، ا.، ۱۳۸۱، بهینه‌سازی روابط دبی اب و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه گرگان‌رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- هویدی، ح.، مهملویی، س. و علیا، ع.، ۱۳۸۹، گرمایش جهانی اقلیم و علل و اثرات آن بر محیط زیست، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ۱۴ص.
- Diaz-Nieto, J., and Wilby, R., L., 2005, A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low-flows in the river Thames United Kingdom, *Climatic Change*, **69**, 245-268.
- Hacking, I., 1983, 19th-century cracks in the concept of determinism, *J. History of Ideas*, **44**, 455-475.
- Hewitson, B. C. and Crane, R. G., 1996, Climate downscaling: techniques and application, *Clim. Res.*, **7**, 85-95.
- IPCC, 2001, Watson, R. T., Zinyowera, M. C., Moss, R. H., and Dokken, D. J., (Eds.), Special report on the regional impacts of climate change, an assessment of vulnerability, Cambridge University Press, UK, 68 pp.
- IPCC, 2007, climate change 2007, the physical science basis, Cambridge University Press, Cambridge.
- Johnson, G. L., Hanson, C. L., Hardegree, S. P. and Ballard, E. B., 1996, Stochastic weather اقلیمی در ۲۰ سال اتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک، ۲۵، ۹۴۵-۹۵۷.
- آشفته، پ. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۹، تاثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر (مطالعه موردی: حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی)، م. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک، ۵۳، ۲۵-۳۹.
- بابائیان، ا.، نجفی‌نیک، ز.، زابل عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح. و ملبوسی، ش.، ۱۳۸۸، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی ECHO-G، م. علمی- پژوهشی جغرافیا و توسعه، ۱۶، ۱۳۵-۱۵۲.
- سیاری، ن.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م.، حسامی کرمانی، م. و فرید حسینی، ع.، ۱۳۸۹، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه کشف رود استان خراسان طی سه دوره آماری ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (ASD) خروجی مدل HADCM3، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، ۱۹ص.
- عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابائیان، ا.، اثمري، م. و برهانی، ر.، ۱۳۸۹، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل ECHO-G، مجله آب و خاک، ۲۴، ۲۱۸-۲۳۳.
- غیور، ح. و مسعودیان، ا.، ۱۳۷۶، اثرات گرم‌تر شدن زمین بر چرخه آب در طبیعت، مجله تحقیقات جغرافیایی، ۴۶، ۳۶-۵۱.
- کاظمی‌زاد، م.، ۱۳۸۶، عوامل موثر بر گرمایش گلخانه‌ای

- large numbers, translation of Pars quarta tradens Usum & applicationem praecedentis doctrinae in Civilibus, J. Moralibus & Oeconomicis, 33p.
- Tramblay, Y., Badi, W., Driouech, F., Adlouni, S. El., Neppel, L. and Servat, E., 2012, Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco, *Global and Planetary Change*, **83**, 104-114.
- Wilby, R. L., Wigley, T. M. L., Conway, D., Jones, P. D., Hewitson, B. C., Main, J. and Wilks, D. S., 1998, Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods, *Water Resources Res*, **34**, 2995-3008.
- Wilby, R. L. and Harris, I., 2006, A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK, *Water Resources Research*, **42**, 7 pp.
- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R., 2011, Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran, *Global and Planetary Change*, **78**, 137-146.
- simulation: overview and analysis of two commonly used models, *Journal Applied Meteorology*, **35**, 1878-1896.
- Karamouz, M., Nazifi, S. and Ahmadi, A., 2009, Climate change impacts on water resources management ICWR, **1**, 15 pp.
- Lane, M. E., Kirshen, P. H. and Vogel, R. M., 1999, Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources, ASCE, *Journal of Water Resource Planning and Management*, **125**(4), 194-204.
- Mitchell, T. D., 2003, Pattern scaling: an examination of accuracy of the technique for describing future climates, *Climatic Change*, **60**, 217-242.
- Prudhomme, C., Reynard, N. and Crooks, S., 2002, Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: Where are we now?, *Hydrological Processes*, **16**, 1137-1150.
- Semenov, M. A., 2008, Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Climate Research*, **35**, 203-212.
- Semenov, M. A. and Barrow, E. M., 2002, A stochastic weather generator for use in climate impact studies, User's manual, Version 3.0.
- Sheynin, S., 2005, Jakob Bernoulli on the law of