

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۱، تابستان ۱۴۰۱ صص ۱۱۱-۱۲۷

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و بارش‌های حداکثر تحت سناریوهای جدید انتشار RCP در حوضه آبریز

محمد رضا گودرزی^{۱*}

Goodarzimr@yazd.ac.ir

آئیه فاتحی فر^۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۵

چکیده

زمینه هدف: امروزه با افزایش جمعیت و پیشرفت تکنولوژی، استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر شده است. افزایش غلظت این گازها تغییرات اقلیمی را در پی خواهد داشت. در واقع تغییر اقلیم نه تنها تغییر در متوسط متغیرهایی چون دما و مجموع بارش، بلکه در افزایش رویدادهای حدی اثر گذار است. از اینرو تاثیر اثرات تغییرات اقلیمی بر پارامتر دما و بارش و همچنین بارش‌های حدی میتواند اهمیت بسیاری برای برنامه ریزی‌های آینده داشته باشد.

روش بررسی: در این مطالعه جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش از مدل گردش عمومی جو CanESM2 طبق جدیدترین گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (AR5) و از سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای پیش‌بینی غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو و از مدل آماری SDSM برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های بزرگ مقیاس گردش عمومی برای شبیه‌سازی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹ میلادی استفاده شده است. سپس کارایی مدل با سه شاخص آماری ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2)، و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

یافته‌ها: نتایج تحقیق در مرحله اول ریزمقیاس‌سازی با مدل SDSM نشان از کارایی خوب مدل دارد. ضرایب R^2 و NSE برای دوره واسنجی دما ایستگاه آذرشهر ۰/۹۹ و ۰/۹۹، برای بارش ۰/۹۵، ۰/۹۵ و بارش ایستگاه قرمزگل ۰/۹۱، ۰/۸۶ می‌باشد. یافته‌ها افزایش دما حداقل و حداکثر بخصوص ماه‌های آپریل تا جولای در این حوضه را بیان می‌کند که بیشترین افزایش مربوط به RCP8.5 به میزان ۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین بارش در ایستگاه آذرشهر افزایش ۷/۴۴ درصدی تحت RCP2.6 و در ایستگاه قرمزگل کاهش

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، ایران (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی ارشد مهندسی عمران، آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی (ره)، ایران

۷/۵۷ درصدی را تحت RCP8.5 نشان می‌دهد. روند کاهشی بارش در سناریوها دیده می‌شود بطوری که در بدبینانه ترین سناریو (RCP8.5)، بیشترین کاهش نمایان شده است. نتایج حاکی از بررسی بارش‌های حدی نشان داد که با وجود تغییرات اقلیمی و کاهش بارش و افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و در نتیجه کمبود منابع آبی و خشکسالی نباید از سیل و بارش‌های حدی سیل آسا غافل ماند.

بحث و نتیجه گیری: به طور کلی نتایج افزایش مقدار بارش‌های حداکثر در آینده را نشان داده است. با این گونه شبیه سازی‌ها میتوان دریافت که تغییر اقلیم حتی در حوضه‌هایی که کاهش متوسط بارش سالانه را به همراه داشته اند، باعث افزایش مقدار و فرکانس بارش‌های حدی شده است. در پژوهش حاضر در ایستگاه‌هایی که مقادیر بارندگی در فصول مختلف افزایش می‌یابد، افزایش مقدار بارندگی خطر ناشی از وقوع سیلاب را افزایش خواهد داد، لذا لازم است تا به مدیریت منابع آب و کنترل سیلاب حوضه توجه خاصی مبذول گردد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی آماری، SDSM, RCP, CanESM2

Assessment of Climate Change Effects on Meteorological Variables and Maximum Precipitation under New RCP Emission in Watershed

Mohammadreza Goodarzi^{1*}

Goodarzimr@yazd.ac.ir

Atiyeh Fatehifar²

Received: November 26, 2018

Accepted: June 10, 2019

Abstract

Background and Objective: Today, the excessive use of fossil fuels has increased the emissions of greenhouse and climate change. Climate change not only affects changes in the mean of variables such as temperature and total precipitation, but also increases the incidence of maximum events. Therefore, the impact of climate change on temperature and precipitation parameters as well as extreme precipitation can be very important for future planning.

Analysis methodology: In this study, to investigate the effect of climate change on temperature and precipitation parameters, CanESM2 general circulation model, according to assessment report fifth (AR5) of the intergovernmental panel on climate change used of new scenarios Representative Concentration Pathways (RCP) Contains RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 and Statistical down scaling model (SDSM) for down scaling Large scale data GCM for simulation has been used during the period 2030-2059. Then the efficiency of the model will be evaluated with three indicators: root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R²) and nash–sutcliffe efficiency (NSE).

Findings: The results of the research in the first stage of downscaling with the SDSM model show the good efficiency of the model. The R² and NSE coefficients for the calibration period of the Azarshahr station are 0.99, 0.99 for temperature and 0.95, 0.95, precipitation and for the Ghermezgol station is 0.91, 0.86. The results indicate the minimum and maximum temperature increase, especially in the month of April to July in this basin, with the highest increase relative to RCP8.5 at 0.26 ° C. Also, precipitation in the Azarshahr station increased by 7.44% under RCP 2.6 and at the Ghermezgol station decreased by 7.57%, under RCP8.5. The decreasing trend of precipitation can be seen in the scenarios, so that the most pessimistic scenario (RCP8.5) shows the greatest decrease. The results of the investigation of extreme rainfalls showed that despite the climate changes and the decrease of precipitation and increase in temperature and consequently the increase of evaporation and the lack of water resources and drought, one should not ignore floods and extreme rainfalls.

Discussion and Conclusions: In general, the results have shown an increase in the amount of maximum rainfall in the future. With such simulations, it can be seen that climate change has caused

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Yazd University, Iran *(Corresponding Author)

2- M.S Student of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Ayatollah Ozma Boroujerdi University, Iran

an increase in the amount and frequency of extreme rainfall, even in basins that have brought about a decrease in average annual rainfall. In the present study, in the stations where the amount of rainfall increases in different seasons, the increase in the amount of rainfall will increase the risk of flooding, so it is necessary to pay special attention to the management of water resources and flood control of the basin.

Keywords: CanESM2, Climate Change, RCP, SDSM, Statistical downscaling

مقدمه

تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلند مدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (۱). بر اساس گزارشات پنجم بین المللی تغییر اقلیم (IPCC)^۱ درجه حرارت کره زمین در طول صد سال گذشته به طور متوسط حدود یک درجه سانتی گراد افزایش داشته است (۲). همچنین در آخرین نشست سران کشورهای جهان تلاش بر محدود کردن این افزایش به دو درجه سانتی گراد بوده است. بررسی‌ها و مطالعات گوناگون نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی دارای اثراتی بر سیستم‌های مختلف طبیعی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی است.

پدیده تغییر اقلیم که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز دی اکسید کربن در جو می‌باشد، باعث تغییراتی در رژیم بارش، میزان رواناب، سرعت باد، تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و دمای هوا می‌شود. توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارت‌های مالی مربوط به رویدادهای جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است (۳). تغییرات معنی دار دمای کره زمین با گرمایش جهانی به عنوان مهمترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته است (۴).

مطالعات بسیاری با توجه به اهمیت بحث تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن در سال‌های اخیر، در کشورهای مختلف انجام شده است. الیسون و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر تغییر اقلیم را بر وضعیت تناوب سیلاب حوضه‌های کشور انگلستان تحت خروجی‌های مدل HadRM3H RCM و سناریوی انتشار A2 مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد علیرغم کاهش متوسط سالانه بارش در حوضه‌ها (به استثنای یک حوضه) در بیشتر دوره بازگشت‌ها، تناوب سیلاب‌ها افزایش یافته است (۵). هاو و همکاران (۲۰۱۳) دما و بارش ماهانه قاره‌های آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی را با استفاده از ۱۳ مدل گزارش پنجم مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج بیانگر آن بود که این مدل‌ها انطباق

نزدیکی با داده‌های مشاهداتی داشته و تفاوت‌های بین الگوهای منطقه‌ای و دامنه تغییرات در مدل‌های شبیه سازی تغییر اقلیم بستگی به داده‌های مشاهداتی بارش و دما دارد (۶). همچنین بوزارت و سن (۲۰۱۳)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم های گوناگون پرداختند (۷).

آکورت و همکاران (۲۰۱۴) اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی دریاچه ویکتوریا در شرق آفریقا را در قرن ۲۱ با استفاده از خروجی‌های مدل‌های گزارش پنجم و تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره زمانی آتی ۲۰۷۵-۲۰۴۰ را مورد بررسی قرار دادند. توانایی مدل‌های اقلیمی در مقیاس روزانه، ماهانه و سالیانه براساس معیارهای ارزیابی خطای میانگین و جذر مجموع مربعات مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نتیجه تحت سناریوی RCP4.5 بارش سالانه کمتر از ۱۰ درصد و برای سناریو RCP8.5 کمتر از ۲۰ درصد افزایش بارندگی در کل قرن ۲۱ رخ می‌دهد (۸). مسعود و همکاران (۲۰۱۵) اثرات تغییر اقلیم آینده را بر هیدرولوژی حوضه‌های گانگز، براهماپورتا و مقنا واقع در بنگلادش را به کمک پنج مدل گزارش پنجم شامل MIROC-ESM ، MIROC5 ، MRI-CGCM3 ، HadGEM2-ES و MRI-AGCM3.2S و تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در سه دوره زمانی نزدیک، متوسط و دور مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد که تا انتهای قرن ۲۱ در کل این سه حوضه دما تا حدود ۴/۳ درجه سانتیگراد افزایش، بارش میانگین به طور متوسط برای حوضه‌های گانگز، براهماپورتا و مقنا به ترتیب برابر ۱۶/۳، ۱۹/۸ و ۲۹/۶ درصد افزایش یافته و این تغییرات در فصل‌های خشک (نوامبر تا آپریل) بیشتر از فصل‌های مرطوب (می تا اکتبر) می‌باشد (۹).

فرج‌زاده (۱۳۹۲) برای ارائه بهترین تصویر از وضعیت عوامل هواشناسی دما و بارندگی ماهانه در رودخانه ششپیر در استان فارس، از ۱۸ مدل گردش عمومی برای افق سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۴۰ و ۲۱۰۰ میلادی، استفاده کرد. برای پارامتر بارندگی، در مقیاس سالانه در افق‌های پیش گفته، به ترتیب ۸، ۲ و ۱۹ درصد افزایش در بارش را پیش بینی نمود (۱۰). دشت بزرگی و

حوضه‌های درجه چهار در تقسیم بندی‌ها محسوب می‌شود. حوضه آذرشهر چای در دامنه‌های غربی توده کوهستانی سهند، در شرق دریاچه ارومیه و در جنوب غرب محدوده شهرستان تبریز واقع شده است. موقعیت این حوضه در محدوده عرض شمالی $37^{\circ} 37' - 37^{\circ} 90'$ و طول شرقی $49^{\circ} 45' - 34'$ می‌باشد. همچنین در سیستم مختصات UTM این حوضه در زون ۳۸ قرار دارد. متوسط دمای سالانه در حوضه، حدود $13/22$ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای ماهانه بین $5-$ درجه سانتی‌گراد در دی ماه تا $33/87$ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه در یک دوره آماری ۲۵ (۱۳۷۰-۱۳۹۴) ساله متغیر می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در یک دوره ۳۵ مشترک (۱۳۵۰-۱۳۸۵) $266/21$ میلی‌متر می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت حوضه حوضه نشان داده شده است.

برای مدل‌سازی با مدل SDSM داده‌های مدل گردش عمومی جو CanESM2 از سایت کانادایی^۳ برای گزارش پنجم تهیه شد. داده‌های NCEP از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ وجود دارند. از اینرو برای مدل‌سازی از بین سه ایستگاه دو ایستگاه مورد تجزیه تحلیل قرار گرفتند و ایستگاه گمبرف بدلیل تازه تأسیس بودن و داشتن داده از سال ۲۰۰۰ میلادی و عدم شبیه سازی با ۶ سال داده پایه از محاسبات حذف شد. شبیه سازی بارش با دو ایستگاه آذرشهر و قرمزگل با آماره ۳۰ ساله و دمای ایستگاه آذرشهر ۱۶ ساله انجام شده است. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده نشان داده شده است.

همکاران (۱۳۹۴) به شبیه سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP 2.6, 4.5, 6 پرداختند. نتایج روند افزایشی دما را بیان کرد، همچنین شاخص دوره سرد روند کاهشی و شاخص دوره گرم سال روند افزایش را نشان داد(۱۱). میردشتوان و همکاران (۱۳۹۵) پارامترهای اقلیمی حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از یک مدل گردش عمومی HadCM3 و با روش ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و دو سناریو انتشار A2 و B2 بازه زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ را شبیه سازی کردند. نتایج حاکی از افزایش دما در هر دو سناریو بخصوص A2 و کاهش بارش در منطقه بود(۱۲).

در کشورمان تاکنون اکثر مطالعات انجام شده در حوضه مدل‌سازی تغییر اقلیم بر اساس داده‌های سری گزارش چهارم انجام شده است، لذا انجام مطالعات و به روز رسانی آن‌ها با داده های گزارش پنجم برای کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی تغییر اقلیم دهه‌های آتی امری ضروری است که تاکنون در ایران تحقیقاتی کمی در زمینه تغییر اقلیم با گزارشات پنجم هیأت بین الدول صورت گرفته است. هدف اصلی این پژوهش بررسی کارایی مدل SDSM^۱ در ریزمقیاس نمایی و همچنین میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش و همچنین بررسی بارش‌های حدی در حوضه مورد مطالعه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹ با استفاده از سناریوهای RCP^۲ می‌باشد. با توجه به تغییرات اقلیمی انجام این پژوهش در راستای بهره برداری پایدار از منابع آبی حوضه تحت تغییر آتی اقلیم امری ضروری به نظر می‌رسد. نتایج این بررسی در پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی منابع آبی در شرایط تغییر اقلیم قابل استفاده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی و داده‌ها

حوضه آبریز آذرشهر چای یکی از زیر حوضه‌های حوضه آجی چای در شمال غرب ایران است. در واقع این حوضه از

3- <http://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2>

1- Statistical Down Scaling Model
2- Representative Concentration Pathways

جدول ۱- اطلاعات مورد استفاده ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش و دما

Table 1- Information used by precipitation and temperature stations

ایستگاه	نوع داده	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره پایه	منبع داده
آذرشهر	بارش و دما	°۴۵ ۵۷' ۰"	°۳۷ ۴۷' ۰"	۱۳۴۰	۲۰۰۵-۱۹۷۶	شرکت مدیریت منابع آب ایران
قرمزگل	بارش	°۴۶ ۶' ۰"	°۳۷ ۴۴' ۰"	۱۶۷۳	۲۰۰۵-۱۹۷۶	شرکت مدیریت منابع آب ایران



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آذرشهر چای (نگارنده)

Figure 1- Geographical location of Azarshahr Chai basin (author)

تاکنون مدل‌های گردش عمومی زیادی توسط مراکز مختلف تحقیقات ارائه شده است که حدوداً در گزارش پنجم ۴۰ مدل معرفی شده است. مدل CanESM2 ترکیبی از دو مدل CanCM4^۳ و CTEM^۴ است که توسط مرکز مدل‌سازی و آنالیز اقلیم کانادا^۵ طراحی شده و دارای شبکه‌بندی سطحی (شبکه‌های با ابعاد حدوداً ۲/۸۱ درجه‌ی طول و عرض جغرافیایی) است (۱۵). در این پژوهش یکی از ۴۰ مدل گردش عمومی بنام CanESM2 استفاده شد. در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن موقعیت سلول محاسباتی اصلی با ویژگی‌های ۱۷x و ۴۶y داده‌های مدل گردش عمومی جو CanESM2 و داده‌های بازکوی روزانه میان‌یابی شده از پایگاه داده NCEP^۶ برای کوچک مقیاس سازی استخراج گردید. در جدول (۲) زیر لیست متغیرهای NCEP آورده شده است.

مدل گردش عمومی CanESM2^۱

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آبی وجود دارد که یکی از معتبرترین آن‌ها، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM^۲ است. این مدل‌ها قادرند تا تمامی فرآیندهای اقلیمی را در ابعاد جهانی و یا قاره‌ای به طور نسبتاً دقیقی شبیه‌سازی نمایند (۱۳). یکی از محدودیت‌های اصلی استفاده از داده‌های اقلیمی مدل‌های گردش عمومی جو، این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیک مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها که در حدود ۲۰۰ کیلومتر است برای بررسی مناطق کوهستانی و مطالعه فرآیندهای بارش نامناسب است (۱۴). در نتیجه داده‌ها باید به طریقی کوچک مقیاس شوند. مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) در چند دهه‌ی اخیر با افزایش قدرت رایانه‌ها توسعه‌ی چشمگیری یافته‌اند.

3- Canadian Coupled Global Climate Model
 4- Canadian Terrestrial Ecosystem Model
 5- Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
 6- National Centers for Environmental Prediction

1- Canadian Earth System Model
 2- General Circulation Model

جدول ۲- فهرست متغیر های NCEP

Table 2- list of NCEP variables

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
۱	فشار سطح صفر	۱۴	سرعت مداری سطحی
۲	قدرت جریان هوای سطحی	۱۵	حالت گردابی سطحی
۳	سرعت نصف النهاری سطحی	۱۶	واگرایی سطحی
۴	جهت باد سطحی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۷	سرعت مداری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	قدرت جریان هوا در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	حالت گردابی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۶	سرعت نصف النهاری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۷	ژئوپتانسیل در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۰	واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	قدرت جریان هوا در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۱	سرعت مداری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	سرعت نصفالنهاری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۲	حالت گردابی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۰	ژئوپتانسیل در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۳	جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۱	واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۴	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۲	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۵	رطوبت نسبی سطحی
۱۳	رطوبت ویژه سطحی	۲۶	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری

سناریوهای انتشار

از آن جای که مهمترین ورودی مدل‌های گردش عمومی جو، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی بوده و از طرفی محاسبه و تعیین انتشار این گازها در دوره‌های آتی به طور قطعی امکان پذیر نیست، از این رو سناریوهای انتشار مختلفی برای آنها ارائه شده است که آنها را سناریوهای انتشار^۱ می نامند(۴). هیأت بین الدول تغییر اقلیم در گزارش پنجم (AR5) خود در سال ۲۰۱۰ سناریوهای جدید RCP را معرفی کردند(۲). سناریوهای جدید انتشار RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که براساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند. سناریوهای RCP با احتمال

تغییرات وسیع در فعالیت‌های انسانی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده همراه می‌باشند. سناریو RCP2.6 دربرگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. در این سناریو میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۴۹۰ ppm تخمین زده می‌شود. گرمایش کلی بین ۰ تا ۱/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد برای اواخر قرن ۲۳ (۲۳۰۰-۲۲۸۱) نسبت به ۲۰۰۵-۱۹۸۶ توصیف شده‌است. این سناریو میزان جمعیت را تا سال ۲۱۰۰ حدود ۷ میلیارد نفر پیش‌بینی کرده است. سناریو RCP 4.5 میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۶۵۰ ppm تخمین زده می‌شود. سناریوی RCP4.5 میزان رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP 2.6 تخمین زده شده است. سناریو RCP8.5 دربرگیرنده بیشترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است، که بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم،

1- Emission Scenarios

2- Assessment Report Fifth

نتایج به دست آمده در دوره‌ی تنظیم مدل و داده‌های بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی، سناریوهای بارش و دمای منطقه برای دو دوره‌ی مشاهداتی و آبی تولید می‌شود که با استفاده از آن‌ها می‌توان به تخمین تغییرات اقلیمی در منطقه‌ی مورد مطالعه پرداخت (۱۸).

به منظور بررسی میزان قابل اعتماد بودن اطلاعات شبیه‌سازی شده از سه شاخص آماری ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)^۱ طبق رابطه ۱، ضریب تعیین (R²)^۲ طبق رابطه ۲ و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE)^۳ طبق رابطه ۳ مورد استفاده قرار گرفته است.

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

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \cdot (S_i - \bar{S})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

که در آن‌ها، \bar{O} میانگین داده‌های مشاهداتی، \bar{S} میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده، O_i داده‌های مشاهداتی هر ماه در کل دوره و S_i داده‌های شبیه‌سازی شده هر ماه در کل دوره می‌باشند.

یافته‌های پژوهش

نتایج صحت سنجی پارامتر دما و بارش در مدل SDSM
پس از آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز مدل SDSM، این اطلاعات برای هر ایستگاه بطور مستقل وارد مدل شده و خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی CanESM2 برای دوره پایه شبیه‌سازی شدند که برای صحت سنجی از سه شاخص ریشه میانگین مربع خطا، ضریب تعیین و ضریب کارایی نش-ساتکلیف استفاده شد. جدول (۳) نتایج صحت سنجی دمای کمینه و بیشینه و جدول (۴) نتایج بارش را نشان می‌دهد.

در این سناریو پیش خواهد رفت. در این سناریو میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۱۳۷۰ ppm تخمین زده می‌شود. گرمای کلی بین ۳ تا ۶/۱۲ درجه‌ی سانتی‌گراد برای همان دوره توصیف شده است. میزان جمعیت در سال ۲۱۰۰ در این سناریو حدود ۱۲ میلیارد نفر خواهد بود (۱۶).

ریزمقیاس نمایی

خروجی مدل‌های گردش عمومی جو باید تحت سناریوهای مختلف برای منطقه مورد مطالعه کوچک مقیاس شوند. روش‌های معمول ریزمقیاس نمایی می‌توان به مدل‌های آماری، دینامیکی اشاره کرد (۱۷). کوچک مقیاس سازی آماری به دلایلی نظیر هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار هستند. در ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از مفاهیم زنجیره مارکوف، سری فوریه، توزیع‌های آماری و روش‌های رگرسیونی، بر مبنای داده‌های تاریخی منطقه وضعیت پارامترهای اقلیمی را در آینده پیش‌بینی می‌کنند. در این پژوهش از گزارش پنجم و مدل ریزمقیاس نمایی آماری که تنها سایت اقلیمی کانادا مدل CanESM2 برای مدل ASD و SDSM بروز کرده و مدل SDSM بدلیل کارایی بهتر، استفاده شده است.

مدل ریزمقیاس نمایی SDSM از ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی می‌باشد، که توسط ویلی و همکاران توسعه یافت. این مدل برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای ریزمقیاس محلی و متغیرهای بزرگ مقیاس اتمسفری از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب‌وهوا و مدل رگرسیونی می‌باشد. در ابتدا به منظور واسنجی و ارزیابی مدل، متغیرهای بزرگ مقیاس منطقه‌ی مطالعاتی در مقیاس روزانه در دوره‌ی مشاهداتی (متغیرهای حاصل از NCEP) به عنوان متغیرهای مستقل؛ و بارندگی و دماهای بیشینه و کمینه‌ی روزانه‌ی مشاهداتی، به عنوان متغیرهای وابسته به طور جداگانه وارد مدل شده و سپس نتایج به دست آمده از مدل با مقادیر مشاهده شده، مقایسه و نحوه‌ی عملکرد مدل ارزیابی می‌شود. با استفاده از

- 1- Root Mean Square Error
- 2- Coefficient of Determination
- 3- Nash-Sutcliffe Efficiency

جدول ۳- نتایج واسنجی و ارزیابی مدل گردش عمومی CanESM2 برای دمای اندازه‌گیری شده

Table 3- Calibration and validation results of the CanESM2 general circulation model for the measured temperature

دوره ارزیابی				دوره واسنجی				ایستگاه	دما
R2	NSE	RMSE	سال دوره	R2	NSE	RMSE	سال دوره		
۰/۹۸۹	۰/۹۸۱	۲/۴۰۸	۲۰۰۵-۲۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱/۸۳۲	۲۰۰۰-۱۹۹۰	بیشینه	آذرشهر
۰/۹۸۸	۰/۹۸۰	۰/۶۹۶	۲۰۰۵-۲۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱/۴۸۶	۲۰۰۰-۱۹۹۰	کمینه	

جدول ۴- نتایج واسنجی و ارزیابی مدل گردش عمومی جو CanESM2 برای بارش اندازه‌گیری شده

Table 4- Calibration and validation results of the CanESM2 general circulation model for the measured precipitation

دوره ارزیابی				دوره واسنجی				ایستگاه
R2	NSE	RMSE	سال دوره	R2	NSE	RMSE	سال دوره	
۰/۷۸۸	۰/۷۲۸	۰/۵۶۴	۲۰۰۵-۱۹۹۶	۰/۹۵۵	۰/۹۵۱	۰/۶۶۷	۱۹۹۵-۱۹۷۶	آذرشهر
۰/۷۸۰	۰/۷۲۵	۰/۶۹۶	۲۰۰۵-۱۹۹۶	۰/۹۱۲	۰/۸۶۴	۰/۸۲۰	۱۹۹۵-۱۹۷۶	قرمزگل

دمای حداکثر روزانه ایستگاه و دمای حداقل ایستگاه بطور مجزا مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که هم دمای حداکثر و هم دمای حداقل این ایستگاه‌ها در دوره آینده افزایش خواهد یافت. همان طور که در جدول (۵) مشهود است، بازه تغییرات دمای حداکثر ایستگاه بین ۰/۰۶ تا ۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد و بازه تغییرات دمای حداقل ایستگاه‌ها بین ۰/۱۳ تا ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در تغییرات دمای حداکثر این دوره، بیشترین افزایش دما مربوط به این ایستگاه تحت سناریوی انتشار RCP8.5 و با میزان افزایش ۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد و کمترین افزایش دما مربوط به سناریوی انتشار RCP2.6 و با میزان افزایش ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد است. همچنین در تغییرات دمای حداقل این دوره، بیشترین افزایش دما مربوط به سناریوی انتشار RCP8.5 و با میزان افزایش ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد و کمترین افزایش دما مربوط به سناریوی انتشار RCP2.6 و با میزان افزایش ۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

هر چه میزان RMSE کمتر باشد نشان دهنده کارایی بیشتر مدل است. مقدار R² بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است، که هر چه به یک نزدیکتر باشد شبیه‌سازی بهتر است. موتویلو و همکاران (۱۹) در بررسی تعیین کارایی مدل تعیین کردند که اگر مقادیر ضریب تأثیر Nash بیش از ۰/۷۵ باشد شبیه‌سازی خوب و مقادیر بین ۰/۳۶-۰/۷۵ شبیه‌سازی مقبول و کمتر از ۰/۳۶ شبیه‌سازی پذیرش ناپذیر است. نتایج شبیه‌سازی دقت خوب و عملکرد بالای مدل SDSM را نشان می‌دهد.

بررسی تغییرات اقلیمی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹

تغییرات دما

برای پیش‌بینی از مدل گردش عمومی CanESM2 و سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. در جدول ۵ نتایج حاصل از پیش‌بینی دما در دوره ۳۰ ساله آینده ۲۰۳۰-۲۰۵۹ ارائه شده است. در این بررسی‌ها،

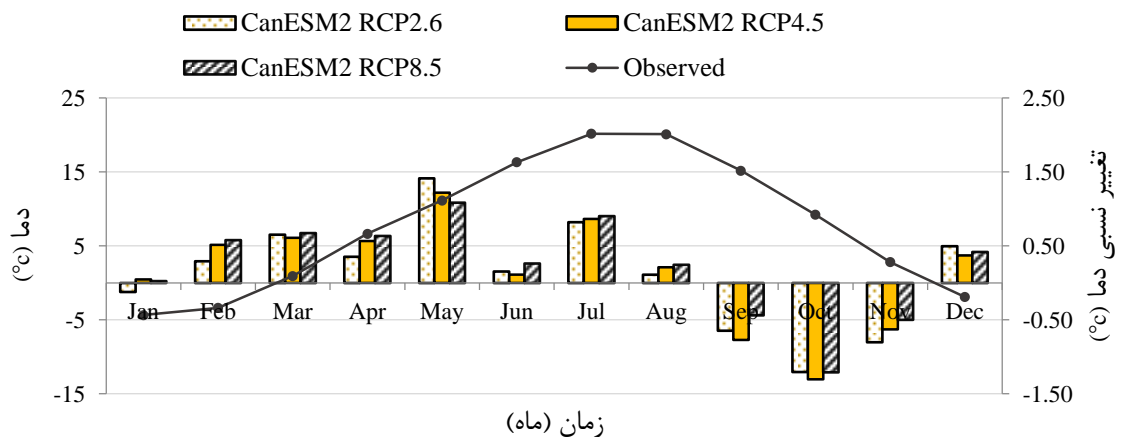
جدول ۵- تغییرات متوسط دمای حداقل و حداکثر دوره مشاهداتی و آینده ایستگاه آذرشهر

Table 5- average changes of the minimum and maximum temperature of the observation and future period the of Azarshahr station

دما (°C) و میزان تغییرات دما دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹) مدل CanESM2						دمای دوره مشاهداتی (°C) (۱۹۹۰-۲۰۰۵)	دما
RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5			
۷/۹۱	+۰/۱۳	۷/۹۴	+۰/۱۶	۸/۰۱	+۰/۲۳	۷/۷۸	حداقل
۱۸/۷۷	+۰/۰۶	۱۸/۸۳	+۰/۱۲	۱۸/۹۷	+۰/۲۶	۱۸/۷۱	حداکثر

محور افقی ترسیم شده‌اند و مقدار آنها توسط ستون سمت راست قابل استخراج است و دمای مشاهداتی هر ایستگاه بصورت نمودار خطی ارائه شده است که با استفاده از ستون سمت چپ می‌توان میزان دمای هر ماه را تشخیص داد.

تغییرات و میزان ماهانه دمای ایستگاه آذرشهر برای دوره آتی در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده‌است. در ابتدا نمودار دمای کمینه ایستگاه‌ها در دوره آینده و سپس نمودار دمای بیشینه آنها ترسیم شده‌است. در این نمودارها دمای پیش‌بینی شده توسط سناریوهای انتشار مدل گردش عمومی اقلیمی روی

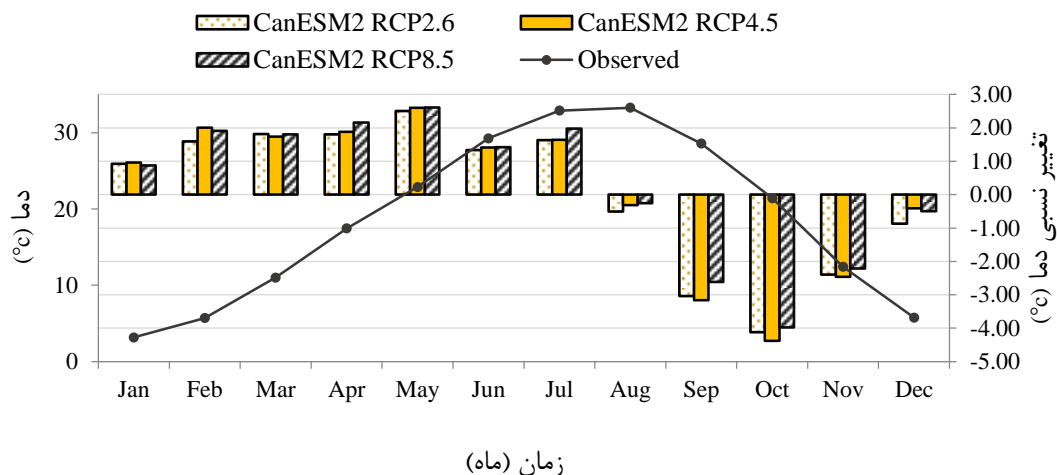


شکل ۲- میزان تغییرات دمای حداقل ماهانه در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۹)

Figure 2- The rate of minimum monthly temperature changes in the future period (2030-2059)

مشهود است در RCP8.5 نسبت به سایر سناریوها افزایش بیشتر رخ داده است.

با توجه به شکل (۲)، مشاهده می‌شود که در دوره ۲۰۵۹-۲۰۳۰ بیشترین افزایش دما در دمای حداقل در ماه می تحت همه سناریو انتشار اتفاق افتاده‌است. همان طور که در شکل



شکل ۳- میزان تغییرات دمای حداکثر ماهانه در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۹)

Figure 3- The amount of monthly maximum temperature changes in the future period (2030-2059)

آذرشهر افزایش بارش و ایستگاه قرمزیکل کاهش بارش را بدنبال داشته است. اما در طی سناریوها روند کاهشی بارش دیده می‌شود. در این مدل کمترین میزان کاهش بارش به سناریوی RCP2.6 اختصاص یافته و میزان پیش‌بینی بارش سناریوی RCP4.5 بطور کلی حد واسط دو سناریوی دیگر در این مدل است. با دقت بیشتر در این نتایج مشاهده می‌شود که بحرانی‌ترین حالت در دوره آینده مربوط به ایستگاه قرمزیکل تحت سناریوی انتشار RCP8.5 مربوط می‌شود که میزان بارش ۷/۵۷٪ نسبت به دوره مشاهداتی کاهش یافته‌است.

با توجه به شکل (۳)، مشاهده می‌شود که در دوره ۲۰۵۹-۲۰۳۰ بیشترین افزایش دما در دمای حداکثر در ماه می به میزان ۲/۶۱ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو انتشار RCP8.5 اتفاق افتاده است. همچنین دما در ماه جولای به حداکثر خود می‌رسد.

تغییرات بارش

نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش در دوره ۳۰ ساله آینده ۲۰۵۹-۲۰۳۰ در جدول (۶) ارائه شده است. با بررسی اجمالی این نتایج اینگونه برداشت می‌شود که تغییرات اقلیمی در ایستگاه

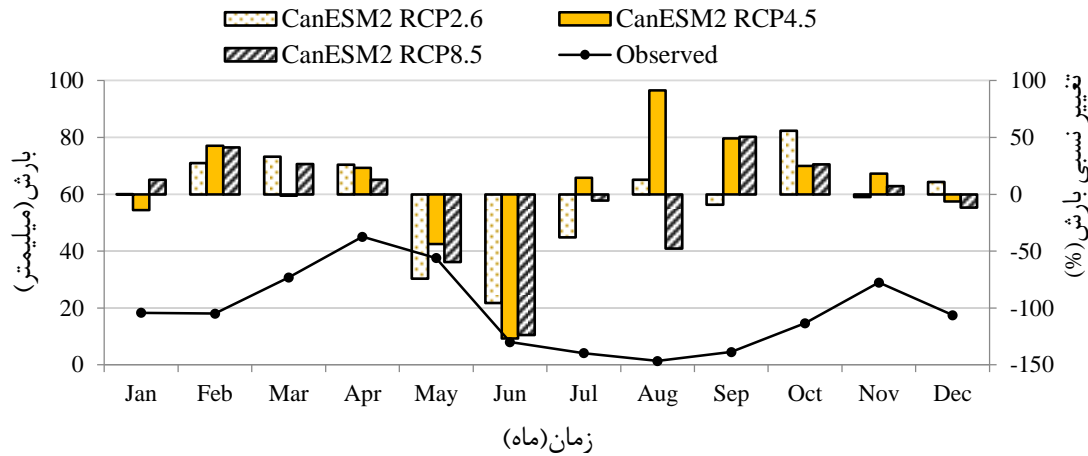
جدول ۶- میزان بارش سالانه دوره مشاهداتی و آینده ایستگاهها

Table 6- The annual precipitation of the observation and future period of the stations

بارش (mm) و میزان درصد تغییرات بارش دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹)						بارش دوره مشاهداتی (mm) (۱۹۷۶-۲۰۰۵)	ایستگاه
RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5			
۲۴۵/۶۷	٪+۷/۴۴	۲۴۲/۶۰	٪+۶/۱	۲۳۹/۰۲	٪+۴/۵۳	۲۲۸/۶۴	آذرشهر
۲۸۳/۷۷	-۱/۱۵	۲۷۲/۷۲	-۵/۰۱	۲۶۵/۳۴	-۷/۵۷	۲۸۷/۰۸	قرمزیکل

در ادامه میزان تغییرات ماهانه بارش در ایستگاهها در دوره ۳۰ ساله ۲۰۳۰-۲۰۵۹ برای همه سناریوهای انتشار مدل‌های

گردش عمومی اقلیمی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. (۴) و (۵) ارائه شده‌اند. میزان بارش و تغییرات بارش ماهانه ایستگاه‌ها در شکل‌های

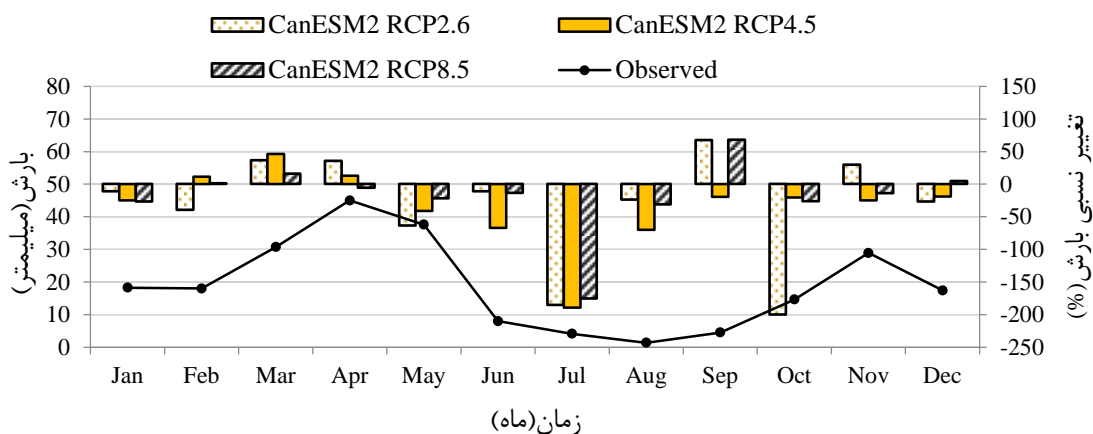


شکل ۴- میزان تغییرات بارش ماهانه ایستگاه آذرشهر دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹

Figure 4- The amount of changes in monthly precipitation of Azarshahr station during 2030-2059

می‌شود. بطور کلی کاهش بارش در ماه‌های گرم و افزایش آن در ماه‌های سرد مشاهده شده است. در هر دو شکل مشخص است که هر چه از سمت RCP2.6 به RCP8.5 پیش می‌رویم میزان افزایش بارش کمتر شده است.

در این شکل‌ها، درصد کاهش و افزایش هر ماه تحت سناریوهای انتشار مختلف بصورت نمودارهای میله‌ای نشان داده شده‌است که مقدار آن‌ها از ستون سمت راست نمودار قابل قرائت است. شکل (۴)، میزان افزایش بیشتر از کاهش در ماه‌ها است و در شکل (۵)، به مقدار کمی در ماه‌ها افزایش دیده



شکل ۵- میزان تغییرات بارش ماهانه ایستگاه قرمزیکل دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹

Figure 5- The amount of changes in monthly precipitation of Ghermezizgol station during 2030-2059

مقایسه بارش حداکثر دوره پایه و آتی

مشخص شد. بررسی داده‌ها بیانگر افزایش احتمال باران‌های

بمنظور مقایسه بارش‌های حداکثر رخ داده با بارش‌های حداکثر

حداکثر سیل آسا در این حوضه خواهد بود. جدول (۷) و (۸)

آینده، داده‌های بارش در محیط اکسل به صورت نزولی مرتب

بارش‌های حداکثر رخ داده در دوره مشاهداتی و آتی را نشان

شد. در تمامی ایستگاه تعداد وقوع باران‌های حدی سیل‌آسا

می‌دهند.

جدول ۷- گزارش برخی از توفان‌ها و باران‌های حدی سیل‌آسا دوره مشاهداتی در حوضه آذرشهر چای

Table 7- Report of some storms and torrential rains during the observation period in Azarshahr Chai

ایستگاه	تاریخ شمسی	تاریخ میلادی	بارش روز mm
آذرشهر	۱۳۹۳/۷/۲۸	۲۰۱۴/۱۰/۲۰	۴۲
	۱۳۸۲/۲/۴	۲۰۰۳/۴/۲۴	۴۴
قرمزگل	۱۳۵۰/۳/۲۶	۱۳۷۱/۶/۱۶	۶۰
	۱۳۴۶/۲/۱۵	۱۹۶۷/۵/۵	۵۹/۵
	۱۳۶۸/۸/۸	۱۹۸۹/۱۰/۳۰	۵۵
	۱۳۵۰/۱۱/۱۷	۱۹۷۲/۲/۶	۴۹/۵
	۱۳۴۷/۲/۲۸	۱۹۶۸/۵/۱۸	۴۹
	۱۳۴۸/۱/۱	۱۹۶۹/۳/۲۱	۴۸

جدول ۸- گزارش برخی از توفان‌ها و باران‌های حدی سیل‌آسا دوره آتی در حوضه آذرشهر چای

Table 8- Report of some storms and torrential rains during the future period in Azarshahr Chai basin

ایستگاه						
قرمزگل			آذرشهر			
تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	بارش (mm)	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	بارش (mm)	CanESM2
۲۰۴۱/۱۱/۱۸	۱۴۲۰/۰۸/۲۸	۵۸	۲۰۵۳/۰۴/۱۸	۱۴۳۲/۰۱/۳۰	۴۳	RCP2.6
۲۰۳۱/۱۱/۱۵	۱۴۱۰/۰۸/۲۴	۵۶		۱۴۱۹/۰۸/۱۷	۴۰	
۲۰۴۹/۰۵/۱۸	۱۴۲۸/۰۲/۲۹	۴۲		۲۰۴۰/۱۱/۰۷		
۲۰۵۵/۰۵/۱۲	۱۴۳۴/۰۲/۲۲	۶۸	۲۰۵۰/۰۸/۳۰	۱۴۲۹/۰۶/۰۸	۵۶	RCP4.5
			۲۰۵۴/۱۱/۲۴	۱۴۳۳/۰۹/۰۳	۵۴	
۲۰۵۸/۱۰/۲۶	۱۴۳۷/۰۸/۰۴	۷۰	۲۰۴۷/۰۳/۲۴	۱۴۲۶/۰۱/۰۴	۵۹	RCP8.5
۲۰۳۴/۱۱/۱۳	۱۴۱۳/۰۸/۲۲	۴۸				

دمای حداقل بترتیب $+0/13$ ، $+0/16$ ، $+0/23$ ، و برای دمای حداکثر بترتیب $+0/06$ ، $+0/12$ ، $+0/26$ درجه سانتی گراد افزایش داشته‌اند.

نتایج شبیه سازی بارش تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 حاکی از افزایش بارش در ایستگاه آذرشهر بترتیب $+7/44$ ، $+6/1$ ، $+4/53$ درصد و کاهش بارش در ایستگاه قرمزیکل بترتیب $-1/15$ ، $-5/01$ ، $-7/57$ درصد بود. همان طور که مشهود است روند کاهشی بارش در سناریوها دیده می‌شود بطوری که در بدبینانه ترین سناریو (RCP8.5)، بیشترین کاهش نمایان شده است. نتایج حاکی از بررسی بارش های حدی نشان داد که با وجود تغییرات اقلیمی و کاهش بارش و افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و در نتیجه کمبود منابع آبی و خشکسالی نباید از سیل و بارش‌های حدی سیل آسا غافل ماند. با این گونه شبیه سازی‌ها میتوان دریافت که تغییر اقلیم حتی در حوضه‌هایی که کاهش متوسط بارش سالانه را به همراه داشته اند، باعث افزایش مقدار و فرکانس بارش‌های حدی شده است. نتایج پژوهش در افزایش وقوع رخداد‌های حداکثر بارش و سیل با سایر پژوهشگران مطابقت دارد (۵، ۸، ۲۰). در پژوهش حاضر در ایستگاه‌هایی که مقادیر بارندگی در فصول مختلف افزایش می‌یابد، افزایش مقدار بارندگی خطر ناشی از وقوع سیلاب را افزایش خواهد داد، لذا لازم است تا به مدیریت منابع آب و کنترل سیلاب حوضه توجه خاصی مبذول گردد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر راهگشای مهمی در اتخاذ تصمیم‌های مرتبط با مدیریت منابع آب در حوضه خواهد بود چرا که با کاهش و افزایش بارندگی و افزایش دما، تبخیر افزایش می‌یابد و کمبود آب و یا سیلاب در آینده بیش از دوره‌ی کنونی احساس می‌شود.

References

- 1- Bolin B.R. The greenhouse effect, climate change and ecosystems. SCOPE Rep. 1986; 29: 541pp.
- 2- IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to

با بررسی و مقایسه نتایج می‌توان افزایش مقدار بارش‌های حداکثر سیل‌آسا را مشاهده کرد. در ایستگاه آذرشهر با توجه به افزایش بارش مقدار بارش حداکثر در سناریو RCP2.6 چندان افزایش نداشته اما در سناریو RCP4.5 مقدار بارش‌ها افزایش یافته و بیشترین افزایش در RCP8.5 با ۵۹ میلی‌متر بارش دیده می‌شود در صورتی که بیشترین بارش رخ داده در این ایستگاه در دوره مذکور ۴۴ میلی‌متر بوده است. در ایستگاه قرمزیکل با وجود کاهش متوسط بارش مقدار بارش‌های حداکثر سیل‌آسا همچنان افزایش یافته بطوری که در RCP8.5 بیشترین افزایش با ۷۰ میلی‌متر را پیش بینی شده است که این مقدار در دوره ۳۰ ساله پایه رخ نداده است. شبیه سازی و نتایج پیش بینی روزانه با مدل SDSM افزایش مقدار باران‌های حداکثر را در آینده نشان داده است. بدبینانه‌ترین حالت ممکن مربوط به RCP 8.5 می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم بر بخش های مختلف اعم از کشاورزی، منابع آب، محیط‌زیست، صنعت و اقتصاد، برنامه ریزی‌های بلندمدت برای مدیریت شرایط جدید، امری اجتناب ناپذیر بوده و برنامه‌های آینده باید به گونه‌ای باشند که تغییرات پیش‌رو اثرات زیانبار کمتری را متوجه بخش آب در این مناطق گرداند.

در پژوهش حاضر با استفاده از خروجی‌های بزرگ مقیاس مدل CanESM2 و با مدل کوچک مقیاس نمایی آماری SDSM تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای گزارش پنجم RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مقادیر دما و بارش در ایستگاه‌های حوضه آذرشهر چای در دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۵۹ میلادی شبیه سازی گردید. با توجه به یافته‌های پژوهش مدل رگرسیون خطی چندمتغیره SDSM کارایی مناسبی در شبیه سازی بارش و دمای ایستگاه آذرشهر و قرمزیکل نشان داد و دارای توانایی خوبی در تولید داده‌های اقلیمی برای دوره آتی است. درجه حرارت با این شبیه سازی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای

- Hydrology Earth Syst. Sci. 2015; 19: 242-221.
- 10- Farajzadeh M. Climate Change Effects on River Discharge-Case Study Sheshpir River. *Geography and Environmental Planning*. 2013; 24(1): 17-32. (In Persian)
- 11- Dashtbozorgi A. Alijani, B. Jafarpour Z. & Shakiba A. Simulating Extreme Temperature Indicators Based on RCP Scenarios: The Case of Khuzestan Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2016; 4(4): 105-124. (In Persian)
- 12- Mirdashtvan M. Malekian A. Mohseni Saravi M. Climate change assessment under greenhouse gases emission scenarios: Urmia Lake Basin. *Desert Management*. 2017; 5(9): 15-30. (In Persian)
- 13- Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam) . *jwmr*. 2015; 5 (10) :117-131. (In Persian)
- 14- Afrooz A. Akbari, H. Rakhshandehroo, G. Pourtouserkani A. Climate change impact on probable maximum precipitation in Chenar-Rahdar River Basin. *Watershed Management*. 2015; 1: 36-47.
- 15- Chylek P. Li J. Dubey M. K. Wang M. Lesins G. Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian Earth System Model CanESM2. *Atmospheric Chemistry and Physics, Discuss*. 2011; 11: 22893-22907.
- 16- Meinshausen M. Smith S.J. Calvin K. Daniel J.S. Kainuma M.L.T. the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Yokohama, Japan. 2014.
- 3- Mohammadi H, Taghavi F. The trend of extreme temperature and precipitation indices in Tehran. *GEOGRAPHICAL RESEARCH QUARTERLY*. 2005;37(53): 151-172. (In Persian)
- 4- IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K & Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007b;104 pp.
- 5- Alison L.K. Richard G.J. Nicholas S.R. RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *Journal of Hydrology*. 2004; 318:163-172
- 6- Hao Z. Aghakouchak A. Phillips T.J. Changes in concurrent monthly precipitation and temperature extremes. *Environmental Research Letters*, 2013; 8:1-7.
- 7- Bozkurt D. Sen O. L. Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of hydrology*. 2013; 480: 149-161.
- 8- Akurut M. Willems p. Niwagaba C.B. Potential Impacts of Climate Change on Precipitation over Lake ictoria, East Africa, in the 21st Century. *Water* 2114, 2014; 6: 2634-2659.
- 9- Masood M. Yeh P.J.F. Hanasaki N. Takeuchi K. Model study of the impacts of future climate change on the hydrology of Ganges-Brahmaputra-Meghna basin.

- precipitation. *Journal of Climate Change*. 2012; 114: 509-526.
- 19- Motovilov Y.G. Gottschalk, L. Engeland, K. and Rodhe A. Validation of a distributed Hydrological Model against Spatial Observations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 1999; 98: 257-277.
- 20- Qin X. S. & Lu Y. Study of climate change impact on flood frequencies: a combined weather generator and hydrological modeling approach, *Journal of Hydrometeorology*. 2014; 15(3): 1205-1219
- Lamarque J.F. Matsumoto K. Montzka S.A. Raper S.C.B. Riahi K. Thomson A. Velders G.J.M. Van Vuuren D.P.P. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*. 2011; 109: 213–241.
- 17- Wilby R.L. Harris I. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 2006; 42: 1-10.
- 18- Chen J. Brissette F.P. Leconte R. Coupling statistical and dynamical methods for spatial downscaling of