



Simulation and forecasting of some climatic variables by SDSM multiple linear model and RCP scenarios in Hajiler watershed

SeyedAsdollah Hejazi^{a*}, Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam^b, Jamshid Yarahmadi^c
Fariba Karami^a, Ali Bigham^d

^aAssociate Professor in Geomorphology, Tabriz University of Tabriz, Tabriz, Iran.

^bProfessor in Geomorphology, Tabriz University of Tabriz, Tabriz, Iran.

^cProfessor in Geomorphology, agricultural research education and extension organization, Tabriz, Iran.

^dPhD Candidate in Geomorphology, Tabriz University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received: 18 June 2023

Revised: 23 August 2023

Accepted: 6 September 2023

Extended Abstract

Introduction

Climate changes have occurred throughout Earth's history. However, in recent years, human interference in the environment has accelerated temperature changes, leading to more pronounced climate shifts. According to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the average global temperature increased by ± 0.18 to 0.7°C over the past century (1906 to 2007) (IPCC, 2007). Furthermore, the Fifth Assessment Report (IPCC, 2013) indicates an increase of 0.85°C between 1901 and 2012. Global warming, with its numerous negative impacts on biological systems, is a critical issue today. To assess these changes at a regional level, detailed investigations using downscaling techniques are necessary. Among these, statistical downscaling models (e.g., SDSM) have proven effective for simulating and evaluating climate change impacts. Despite extensive research on downscaling, no prior study has specifically examined the exponential downscaling of maximum and minimum temperature and precipitation for the Hajiler watershed using IPCC's fifth report scenarios. Therefore, this study aims to simulate monthly temperature and precipitation parameters at Ahar synoptic station using the SDSM model under RCP scenarios and analyze their annual trends using the non-parametric Mann-Kendall test.

*.Corresponding author: SeyedAsdollah Hejazi Email: s.hejazi@tabrizu.ac.ir Tel:+989144039787

How to cite this Article: Hejazi, S. , Rezaei Moghaddam, M. H. , Karami, F. , Yarahmadi, J. , & Bigham, A. (2024). Simulation and forecasting of some climatic variables by SDSM multiple linear model and RCP scenarios in Hajiler watershed. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4),244-268



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Material and Methods

This study employed the SDSM model (version 5.3) and three RCP scenarios (2.6, 4.5, and 8.5) from the IPCC Fifth Assessment Report. Climate data from Ahar synoptic station were used to simulate precipitation and temperature (maximum and minimum) across four time periods: the near future (2020-2039), mid-future (2040-2059, 2060-2079), and far future (2080-2099). In the first stage, daily data for precipitation and temperature from 1986 to 2005 were collected from the Meteorological Organization and underwent quality control. These data were then used in the SDSM model for monthly-scale simulations and compared with baseline observations.

The SDSM model incorporates three types of data for downscaling: daily observational data (predictand), NCEP reanalysis data (predictor), and large-scale forecast data from atmospheric general circulation models (GCMs). Predictor data from the CanESM2 model were sourced from the Environment Canada website. Large-scale daily time series data (1961-2005) for precipitation, maximum temperature, and minimum temperature were pre-processed in Excel and prepared for analysis in Notepad. Predictor variables suitable for the region were selected based on correlation with observational data and analyzed using the NCEP and CanESM2 datasets. Using these predictors, precipitation and temperature values for future scenarios (RCP 2.6, RCP 4.5, and RCP 8.5) were simulated for the four study periods.

Results and Discussion

To predict temperature changes in the Hajiler watershed, the SDSM statistical downscaling model was used. The statistical relationship between observed and predictor variables was evaluated based on correlation coefficients. Among the 26 atmospheric variables tested, nceptempgl and ncepp500gl exhibited the highest correlation with temperature and precipitation data. Temperature data showed a stronger correlation with observational data than precipitation due to temperature's continuous nature and lower variability compared to precipitation, which is more influenced by anomalies.

After validating the model for the baseline period (1986-2005), climatic parameters were simulated for future periods under the RCP 2.6, RCP 4.5, and RCP 8.5 scenarios using the CanESM2 global model. The analysis revealed that climate change affects precipitation in two primary ways: changes in precipitation amount and changes in its temporal distribution. Results indicate that precipitation patterns will become increasingly irregular, with rainfall occurring during inappropriate seasons.

In terms of temperature trends, the model predicts a general increase in both maximum and minimum temperatures across all scenarios and time periods. This temperature rise is more pronounced during warmer months.

Conclusion

This study used the SDSM linear model and CanESM2 outputs under RCP 2.6, RCP 4.5, and RCP 8.5 scenarios to predict temperature and precipitation trends in the Hajiler watershed until 2100. Results showed that temperature data had a stronger correlation with observational data compared to precipitation, due to temperature's continuous and less variable nature.

The findings revealed a significant increasing trend in both maximum and minimum temperatures, alongside irregular rainfall patterns. Specifically, rainfall is projected to decrease during traditional rainy seasons while increasing during unseasonal months under certain scenarios.

In conclusion, the observed increases in temperature and irregular rainfall distribution emphasize the need for proactive measures in water resource management, watershed planning, and agriculture. These measures are essential to mitigate the adverse effects of climate change in the Hajiler watershed region.

This study highlights the efficacy of the SDSM model in climate parameter downscaling and underscores the importance of considering regional climate projections for sustainable environmental management.

Keywords: Climate Change Modeling, SDSM, RCP Scenarios, Statistical Downscaling, Temperature and Precipitation Trends.

How to cite this Article: Hejazi, S. , Rezaei Moghaddam, M. H. , Karami, F. , Yarahmadi, J. , & Bigham, A. (2024). Simulation and forecasting of some climatic variables by SDSM multiple linear model and RCP scenarios in Hajiler watershed. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4),244-268



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)



دسترسی آزاد

DOI: 10.22067/geoeh.2022.75404.1206

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و سناریوهای RCP در حوضه آبخیز حاجیلر

سیداسدالله، حجازی^۱ - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

محمدحسین رضائی مقدم - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

جمشید یاراحمدی - دانشیار ژئومورفولوژی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.

فریبا کریمی - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

علی بی‌غم - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۵

چکیده

مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی به‌منظور تولید مقادیر بارش واقعی در یک محدوده محیطی از طریق شبیه‌سازی مجموعه داده‌های اتمسفری مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این پژوهش پیش‌بینی مقادیر عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر با مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و با استفاده از خروجی مدل تغییر اقلیمی CanESM2 تحت سه سناریو RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ ریزمقیاس و برای چهار دوره ۱۸ ساله برای دوره‌های آینده ۲۰۷۹-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۲۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بوده است. همچنین از شاخص‌های آماری میانگین جذر خطا مربع (RMSE) و میانگین خطای مطلق و (MAE) استفاده شده و بررسی روند سالانه این تغییرات با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک است. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد در سناریوهای RCP ۲.۶ و RCP ۴.۵ در فصل بهار کاهش بارش به میزان ۱۴ تا ۵ میلی‌متر در ایستگاه سینوپتیک اهر رخ می‌دهد همچنین متوسط دمای حداکثر از ۰/۱ تا ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد، متوسط دمای حداقل از ۰/۴ تا ۱/۵۴ درجه سانتی‌گراد در هر سه سناریو در خلال دوره‌های زمانی افزایش خواهد یافت. از نظر روند تغییرات بارش فصلی در تمام سناریوها در فصول بارشی کاهش و در ماه‌های سرد افزایش داشته و در مورد عنصرهای دما در تمام سال این روند معنادار و افزایشی خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی تغییرات اقلیمی، مدل SDSM، سناریوهای RCP، کوچک‌مقیاس‌سازی آماری، روندهای دما و بارش.

۱-مقدمه

تغییرات اقلیمی در کره زمین در طول تاریخ همواره در حال رخداد بوده، اما با دخالت نابسامان انسان در محیط‌زیست در سال‌های اخیر، شرایط ویژه‌ای برای دگرگونی دما و در نتیجه آن تغییرات اقلیمی فراهم شده است. طبق خروجی‌های مدل گردش عمومی جو^۲ (GCM) دمای سطح زمین در کل جهان تا پایان قرن ۲۱ احتمالاً تا ۱/۵ درجه نسبت به دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۰۰-۱۸۵۰ برای همه سناریوهای تعریف شده به‌جز یک سناریو افزایش خواهد یافت و البته این تغییرات در مناطق مختلف یکنواخت نخواهد بود.

علوی نیا (Alavinia, 2022) تمام مدل‌های AOGCMs مانند SDSM, LARS-WGS و غیره افزایش دما در سطح زمین و افزایش شدت بارش و مقدار آن بر اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای را در قرن حاضر پیش‌بینی می‌کنند. هملت و لتنمایر (Hamlet & Lettenmaier, 2007) طبق گزارش‌های چهارم ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۳ (IPCC) این افزایش دما به‌صورت متوسط در طی صدسال گذشته (۱۹۰۶ تا ۲۰۰۷) به میزان 0.18 ± 0.07 درجه سانتی‌گراد (IPCC, 2007) و طبق گزارش پنجم در طی سال‌های ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۲ به میزان 0.85 درجه سانتی‌گراد بوده است (IPCC, 2013). پدیده گرمایش زمین که اثرات متعددی منفی بر شرایط مختلف زیستی می‌گذارد امروزه حائز اهمیت زیادی است و برای تعیین این تغییرات در هر منطقه‌ای نیاز به بررسی‌های دقیق در مقیاس‌های ریز می‌باشد که در این میان ریزمقیاس‌نمایی بر اساس مدل‌های مختلف چون SDSM از روش‌های متداول در این زمینه بوده و مطالعات خیلی زیادی در این زمینه صورت گرفته که همگی بر کارایی این مدل در شبیه‌سازی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم می‌باشد؛ به‌طوری‌که چو و همکاران (Chu, Xia, Xu & Singh, 2010) اقدام به ارزیابی این مدل در شبیه‌سازی دمای هوا، تبخیر، بارش و همچنین برخی رویدادهای حدی دما و بارش در ۱۱ ایستگاه هواشناسی در حوضه رودخانه‌های چین نمودند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت مناسب SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر بود. اگرچه در شبیه‌سازی رویدادهای حدی خطاهای سیستماتیک وجود داشت اما نتایج حاصل جهت کاربردهای عملی قابل‌قبول تشخیص داده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که طی ۳۹ سال آینده، اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر و رویدادهای جدی شدیدتر خواهند بود.

خان و همکاران (Khan, Coulibaly & Dibike, 2006) طی مطالعه‌ای در SDSM به مقایسه عدم قطعیت دو مدل مولد آب‌وهوایی و ریزمقیاس‌نمای دمای بیشینه و کمینه روزانه و بارش روزانه مربوط به منطقه‌ای در

² -General Circulation Model

³ -Intergovernmental Panel on Climate Change

شمال کانادا پرداخته‌اند. در این تحقیق از نظر عدم قطعیت، کارایی مدل رگرسیونی چند متغیره بهتر از عملکرد مدل مولد آب‌وهوایی بوده است. براون و همکاران (Brown, Sharp & Collura, 2016) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دمای آب حوضه یاکواینا^۴ در ایالت اورگان ایالات متحده در دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ پیش‌بینی کردند که در هر دهه یک افزایشی در حدود ۰/۳ سانتی‌گراد خواهند داشت. یو و همکاران (Yue et al., 2016) با مدل‌های سری CMIP5 و با سناریوهای RCP در ۷۳۵ ایستگاه هواشناسی سراسر چین نشان دادند که میانگین دمای سالانه ۱/۸ درجه سانتی‌گراد کمتر از حد برآورد شده است. درحالی‌که میانگین بارش سالانه ۲۶۳ میلی‌متر بیشتر از داده‌های مشاهداتی در دوره‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ محاسبه شده است. علیزاده پهلوان و زهرایی (Alizadeh Pahlavan & Zahraei, 2014) با شبیه‌سازی داده‌های بارش در ایستگاه سد لتیان با مدل‌های SDSM و LARS-WG به این نتیجه رسیدند که در دوره اخیر شدت بارش‌های حدی افزایش یافته است و این روند می‌تواند در بیست سال آینده نیز تداوم داشته باشد. احمدآبادی و صدیقی‌فر (Ahmedabadi & Sedighi Far, 2017) پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن، بر اساس مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری در تحقیق حاضر بر اساس داده‌های وضع موجود ایستگاه‌های سینوپتیک کرج، مهرآباد و دوشان تپه با کمک مدل SDSM به پیش‌بینی دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۴۵ پرداختند. نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی هر دو مدل SDSM در پیش‌بینی اقلیمی نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۴۵ کاهش بارندگی، افزایش دما و کاهش تبخیر و تعرق واقعی محتمل است.

طاهری تیزرو و همکاران (Taheri Tizro, Khodamorad Pour & Mashhadian, 2017) با استفاده از مدل اقلیمی HadGEM2 و سناریوی RCP۴.۵ از گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب سطحی در منطقه تویسرکان پرداختند. نتایج ارزیابی به عملکرد خوب مدل در برآورد بارندگی و دما اشاره داشت و پیش‌بینی بارندگی در ۱۰ سال آینده (۲۰۲۵-۲۰۱۶) نشان از کاهش بارندگی در بیشتر بخش‌های حوضه دارد.

عساکره و اکبرزاده (Asakereh & Akbarzadeh, 2017) به شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2 اقدام کردند نتایج نشان می‌دهد تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به‌غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است و حداقل دما در سه سناریوی موردبررسی برای سه دوره مورد مطالعه افزایش می‌یابد. همچنین حداقل دما به‌طورکلی در تمام فصول افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۸ درجه نیز افزایش دما مشاهده می‌گردد.

⁴ Yaquina

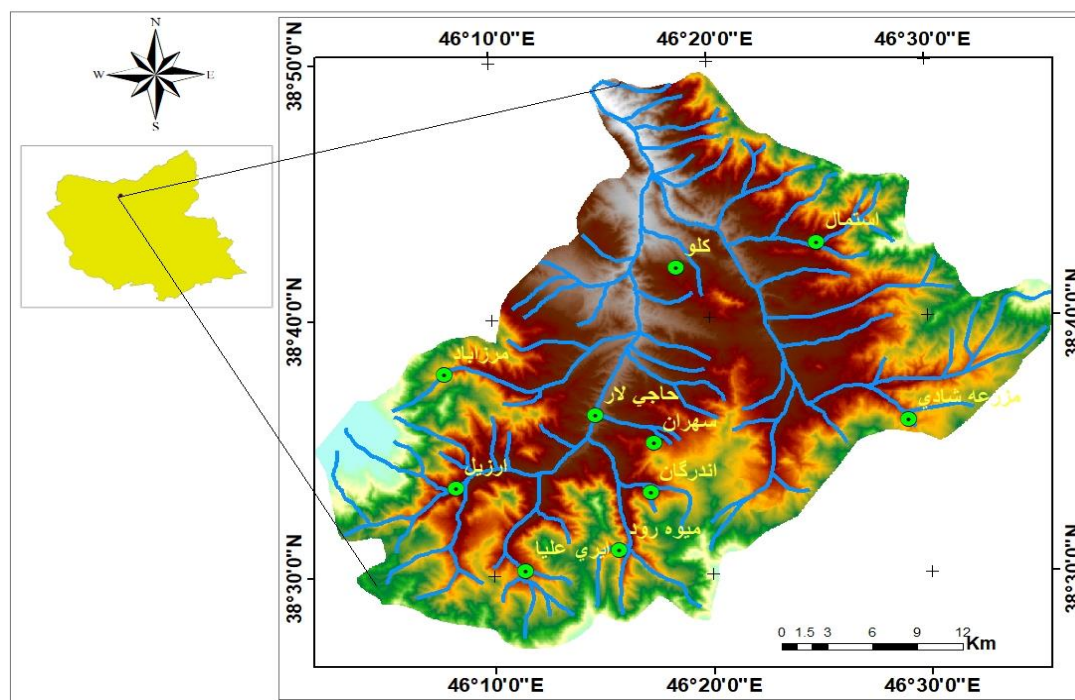
زارعی و همکاران (Zarei, Mohammadi & Bazgeer, 2019) اقدام به پیش‌بینی عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک گرگان بر اساس سناریوهای RCP تا دوره زمانی ۲۰۷۱ کردند نتایج نشان داد در هر سه سناریو دمای حداکثر و حداقل دارايش روندی افزایشی و میزان بارش به‌طور محسوس و معناداری کاهش می‌گردد.

با توجه به اینکه که تاکنون پژوهشی در رابطه با ریزمقیاس‌نمایی عناصر اقلیمی دمای حداکثر و حداقل و میزان بارش و شبیه‌سازی آن برای دوره‌های آتی در محدوده حوضه آبخیز حاجیلر بر اساس گزارش پنجم IPCC انجام نگرفته است، لذا این مقاله با دو هدف اصلی شبیه‌سازی ماهانه پارامترهای دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر در محدوده حوضه حاجیلر با مدل SDSM و تحت سناریوهای جدید انتشار (RCP) و بررسی روند سالانه پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کنندال در طی دوره‌های آتی تهیه و اهداف موردبررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز حاجیلر در استان آذربایجان شرقی با مساحت ۱۰۶۸۰۰ هکتار که از شاخه‌های اصلی رودخانه ارس می‌باشد در مختصات جغرافیایی طول " ۴۶°۰۱'۴۸" تا " ۴۶°۳۶'۱۳" شرقی و عرض " ۳۸°۲۶'۱۳" تا " ۳۸°۴۹'۳۹" شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه از نظر تقسیمات سیاسی کشور در محدوده شهرستان ورزقان و دهستان‌های آن جوشی، دیزم، سینا و ارزی می‌باشند. حداکثر ارتفاع موجود در منطقه ۳۲۵۸ متر و حداقل آن ۶۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ۴۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه آن ۱۵.۸۰ درجه سانتی‌گراد است، از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن دارای اقلیم مدیترانه‌ای می‌باشد. این منطقه از آب‌های زیرزمینی غنی برخوردار است که از طریق رودخانه گل‌آخور به سطح آورده می‌شود این رودخانه بزرگ‌ترین محدوده اطراف و تنها رودخانه موجود در حوضه می‌باشد که از ارتفاعات آهکی جنوب غرب منطقه سرچشمه گرفته و از طریق بستر موجود و با جمع‌آوری آبراهه‌های فرعی در مرکز به سمت شمال به رودخانه ارس می‌ریزد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان

Fig.1. Location of the study area in the province

۲-۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نسخه ۵.۳ مدل SDSM و سه سناریو RCP۸.۵، RCP۴.۵ و RCP۲.۶ از گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک اهر با هدف شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بارش و دما (دماهای حداکثر، حداقل) در محدوده مورد مطالعه در چهار بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۳۹)، میانی (۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۷۹-۲۰۹۹) و آینده دور (۲۰۸۰-۲۰۹۹)، استفاده گردید. سناریوهای مذکور برای دهه‌های آینده طراحی شده‌اند در سناریو RCP8.5 بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست-های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸.۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است (Riahi et al., 2011).

سناریوی RCP۴.۵ توسط گروه Mini CAM طراحی شده است و در آن تابش ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۱.۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند (Asakereh & Akbarzadeh, 2017).

سناریوی انتشار RCP ۲.۶ توسط گروه مدل‌سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند (Jafary Godeneh, Salajeghe & Haghghi, 2020). در واقع SDSM روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است. نرم‌افزار SDSM کوچک‌مقیاس کردن آماری متغیرهای اقلیمی روزانه را طی مراحل زیر انجام می‌دهد:

در این تحقیق در مرحله اول داده‌های روزانه پارامترهای بارش و دما در دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ از سازمان هواشناسی تهیه و بعد از کنترل کیفی مرتب گردید سپس، با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری ۵.۳ SDSM این پارامترهای اقلیمی در مقیاس ماهانه شبیه‌سازی و با داده‌های دوره آماری پایه مقایسه گردید. در این مدل برای ریزمقیاس نمایی از سه نوع داده استفاده می‌شود: داده‌های مشاهداتی روزانه (پیش‌بینی شونده) داده‌های پیش‌بینی کننده مشاهداتی (NCEP) و نیز داده‌های پیش‌بینی کننده بزرگ‌مقیاس حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو در سه سناریو (CanESM2) از سایت محیط‌زیست کانادا اخذ گردید، که مشخصات آن در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱- مختصات مدل (CanESM2)

Table 1- Coordinates of the model (CanESM2), (Charron, 2016)

نام مدل Model Name	قدرت تفکیک اتمسفری (درجه) (طول*عرض) Atmospheric Resolution (Degrees) (longitude*latitude)	قدرت تفکیک اقیانوسی (درجه) (طول*عرض) Oceanic Resolution (Degrees) (longitude*latitude)	گروه مؤسس Founding Group	دوره شبیه‌سازی تاریخی / آینده Historical/Future Simulation Period	سناریوهای شبیه‌سازی Simulation Scenarios
Canesm2	2.81 × 2.81	1.41 × 0.94	CCCMA کانادا Canada	1961-2005 2020-2100	RCP 2.6, 4.5, 8.5

کوچک‌مقیاس کردن آماری متغیرهای اقلیمی روزانه در مدل SDSM طی مراحل زیر انجام می‌گردد:

- تهیه، کنترل کیفیت و تغییر شکل داده‌ها، ۲- انتخاب متغیرهای مناسب پیش‌بینی کننده که دارای میزان همبستگی بالایی هستند، ۳- کالیبره کردن داده‌ها با استفاده از پارامترهای مناسب تعیین شده در مدل، ۴- تولید مدل هواشناسی (با استفاده از پیش‌بینی کننده مشاهده‌ای)، ۵- آنالیز آماری داده‌ها در حالت مشاهده‌ای و ماهانه، ۶- تهیه خروجی گرافیکی مدل و بررسی میزان همخوانی داده‌های مدل شده با مشاهده‌ای، ۷- تولید سناریو اقلیمی در بازه زمانی مختلف.

در مرحله آماده‌سازی داده‌ها در مقیاس بزرگ مناسب حوضه آبخیز مورد مطالعه داده‌های سری زمانی روزانه برای عناصر اقلیمی مطرح در این مدل‌سازی شامل بارش، حداکثر دما و حداقل دما در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ که حد تعریف شده برای شبیه‌سازی توسط سناریوهای مطرح می‌باشد، ابتدا در محیط اکسل کنترل،

تنظیم و سپس در محیط Notepad آماده گردید و داده‌های پیش‌بینی کننده اقلیمی NCEP و CanESM2 مناسب منطقه با توجه به موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز از نقشه جهانی موجود در سایت محیط‌زیست کانادا (CCSN) اخذ گردید. در مرحله دوم سنجش پارامترهای مناسب پیش‌بینی کننده از بین ۲۶ متغیر اتمسفری تعریف شده توسط NCEP و انتخاب متغیرهایی از میان آن‌ها که دارای همبستگی مناسب با داده‌های مشاهده‌ای داشته از طریق کنترل پیش‌بینی کننده‌های گوناگون، میزان همبستگی آن‌ها و حذف مرحله‌ای متغیرهای با همبستگی ضعیف صورت گرفت. در این تحقیق به منظور بررسی میزان کارایی مدل دو معیار آماری میانگین قدر مطلق خطا (MAD^5) و مجذور میانگین مربع خطا ($RMSE^6$) مورد استفاده قرار گرفت. این معیارها بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند

$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|At - Ft|}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (At - Ft)^2}}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه‌ها At داده‌های مشاهداتی، Ft داده‌های برآورده شده و n تعداد نمونه می‌باشد. $RMSE$ و MAE معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری است. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل است.

در ادامه با استفاده از پارامترهای به دست آمده از این رابطه، با به‌کارگیری متغیرهای بزرگ‌مقیاس حاصل از مدل canESM2 برای دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ استخراج شدند. سپس با معرفی این داده‌ها به مدل SDSM، بارش، دمای حداکثر و حداقل تحت سه سناریو RCP۲.۶، RCP ۴.۵ و RCP ۸.۵ برای چهار دوره ۱۸ ساله ۲۰۷۹-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۴۰، ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ برای محدوده مطالعه تولید کرده و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

برای بررسی عملکرد نتایج شبیه‌سازی در این مدل از آزمون‌های آماری Kolmogorov-Smirnov (K-S) و Shapiro-Wilk استفاده شده است (Farajzadeh, Oji, Cannon, Ghavidel & Massah Bavani, 2015). نتیجه این آزمون، اگر این آزمون معنی‌دار بود (یعنی p کوچک‌تر از ۵ صدم بود)، به معنی این است که توزیع داده‌ها، نرمال نیست و می‌توان از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده کنیم، و بالعکس. چون تأیید شدن این آزمون، نشانه ناپارامتریک بودن داده‌هاست. این آزمون‌ها بر اساس این فرض هستند که داده‌های هواشناسی مشاهده شده و تولید شده، نمونه‌های تصادفی از توزیع‌های موجود می‌باشند. این آزمون‌ها فرض صفر را

⁵- Mean squared error

⁶-Representative Concentration Pathways

بررسی می‌کنند. فرض صفر به این معنی است که هر دو توزیع مشابه هستند و اختلاف معنی‌داری ندارند. در این مطالعه تغییرات متغیرها در افق ۲۱۰۰ نسبت به دوره مبنا (۲۰۰۵-۱۹۸۶) مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

جهت بررسی تغییرات دما و پیش‌بینی دمای حوضه حاجیلر از مدل آماری RCP استفاده شده است. یکی از مهم‌ترین مراحل مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری، انتخاب متغیرهای غالبی می‌باشد. این امر ناشی از آن است که مشخصات مدل و نتایج، مستقیماً تحت تأثیر متغیرهای مستقل می‌باشد (Santer et al., 1996). در مدل SDSM ارتباط آماری بین متغیرهای مشاهده شده یا پیش‌بینی شونده با متغیرهای بزرگ‌مقیاس یا پیش‌بینی‌کننده بر اساس همبستگی ارزیابی می‌شود. بر اساس ضرایب همبستگی بین داده‌های مشاهده شده با متغیرهای پیش‌بینی روزانه با استفاده از نرم‌افزار SDSM در محدوده حوضه حاجیلر، از بین ۲۶ متغیر آزمون شده ۲ متغیر nceptempgl و ncepp500gl در بخش دما و پارامترهای nceptempgl و ncepp500gl در بخش بارش، دارای بیشترین همبستگی (P-Value=0) با داده‌های مشاهده‌ای حداکثر و حداقل دما و میزان بارش را داشتند (جدول ۲). همان‌طور که از نتایج مندرج در جدول ۲ برمی‌آید، بیشترین میزان همبستگی پیش‌بینی‌کننده‌های NCEP با عنصر بارش را میانگین فشار سطح دریا، جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال و جهت باد در نزدیک سطح، با متوسط حداکثر دما؛ میانگین فشار سطح دریا، جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در نزدیک سطح و جهت باد در نزدیک سطح، و با متوسط حداقل دما؛ سرعت جریان هوا ژئواستروفیک در نزدیک سطح زمین، جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال و جهت باد در نزدیک سطح، با متوسط حداکثر دما؛ میانگین فشار سطح دریا، جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در نزدیک سطح و جهت باد در نزدیک سطح زمین به خود اختصاص داده‌اند. بررسی‌های نشان می‌دهد که میزان این همبستگی در متوسط حداکثر و حداقل دما قوی‌تر از بارش است و جدول شماره ۲ میزان همبستگی بین عناصر را با پارامترهای پیش‌بینی‌کننده نشان می‌دهد این میزان همبستگی با نتایج اکثر پژوهش‌های رفرنس داده همخوانی دارد.

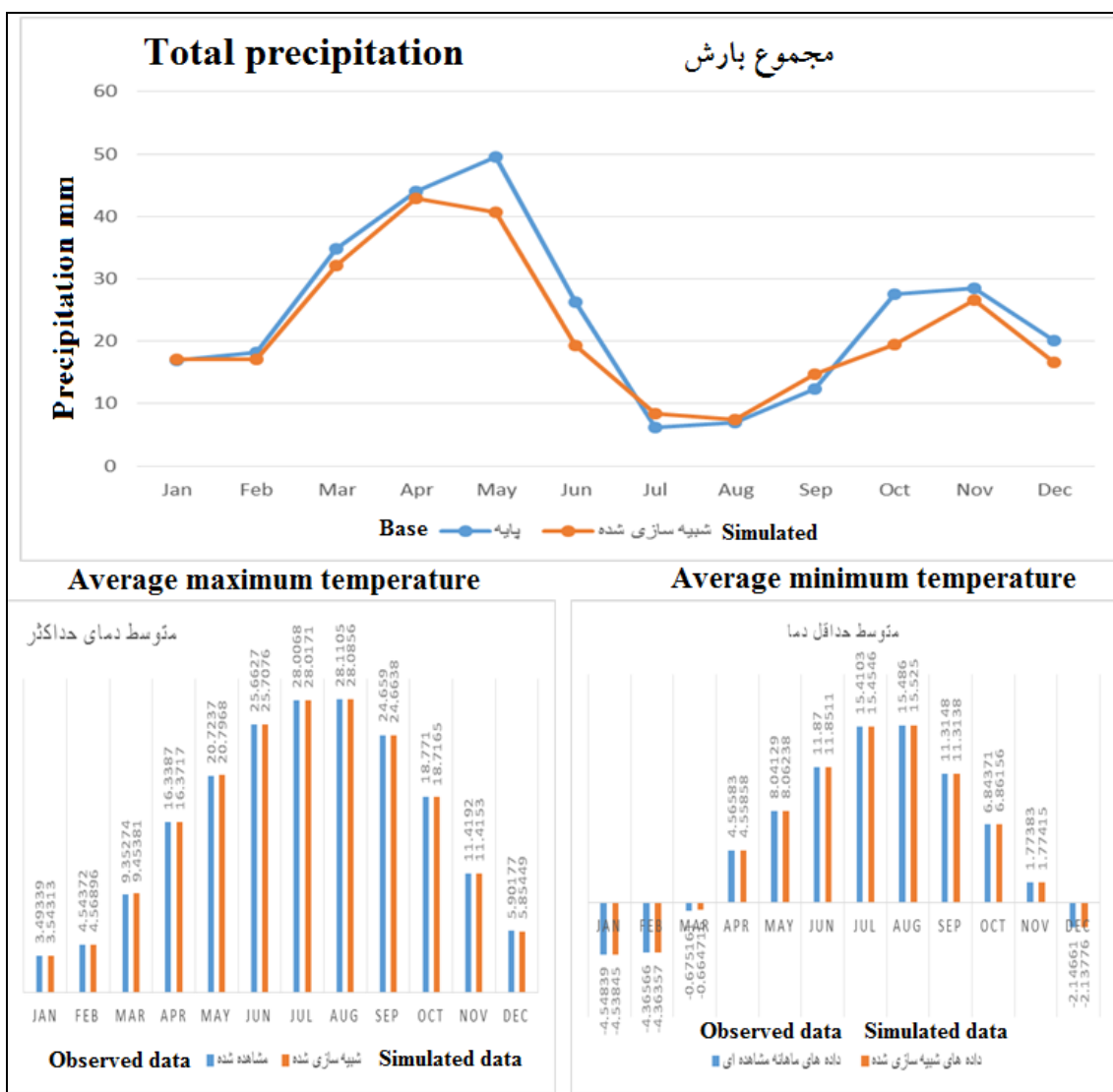
جدول ۲- میزان همبستگی بین عناصر بارش و دما با پارامترهای پیش‌بینی کننده NCEP

Table 2 - The degree of correlation between precipitation and temperature elements with NCEP predictive parameters

دمای حداقل			دمای حداکثر			بارش		
Minimum Temperature			Maximum Temperature			Precipitation		
Partial correlation	P-Value	Selected predictor	Partial correlation	P-Value	Selected predictor	Partial correlation	P-Value	Selected predictor
-0.12	0.0	Ncepp1fgl	0.023	0.0	ncepmslpgl	0.064	0.02	ncepmslpgl
0.068	0.0	ncepp500gl	0.027	0.0	ncepp500gl	0.051	0.07	ncepp8thgl
0.026	0.0	nceps850gl	0.059	0.0	nceps850gl	0.108	0.0	nceptempgl
0.449	0.0	nceptempgl	0.553	0.0	nceptempgl			

همان‌طور که مطرح شد با توجه به نتایج جدول ۲ داده‌های دما همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی نسبت به بارش داشته‌اند این بدان علت است که تغییرپذیری دما نسبت به بارندگی کمتر است و دما یک متغیر پیوسته می‌باشد که کمتر تحت تأثیر ناهنجارهای زمانی قرار می‌گیرد. درحالی‌که بارندگی یک پارامتر گسسته است و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد.

پس از انتخاب بهترین پیش‌بینی کننده‌ها، به دلیل اینکه SDSM5.3 از رابطه رگرسیونی استفاده می‌کند و کل پارامترها را محاسبه می‌کند کل داده‌های آماری مشاهده‌ای یعنی از سال ۱۳۸۶ تا ۲۰۰۵ برای واسنجی اختصاص داده شد. نتایج این واسنجی به نمودار در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودارها مشخص است، اختلاف چندانی بین مقادیر داده‌های پایه و مقادیر برآورد شده در داده‌های دما توسط مدل وجود نداشته اما در داده‌های بارش نسبت به داده‌های دما اختلافات بیشتر است.



شکل ۲- مقایسه مقادیر عنصرهای بارش و دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی مدل SDSM
Fig. 2. Comparison of observed and simulated values of precipitation and temperature elements in the calibration stage of the SDSM model

برای روشن شدن توانمندی مدل، علاوه بر روش ترسیم از معیارهای آماری از مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) و MAE استفاده شد. نتایج حاصل از سنجش در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- ارزیابی کارایی شبیه‌سازی‌های (SDSM) طی دوره آماری پایه ۱۹۸۶-۲۰۰۵ در محدوده حوضه حاجیلر

Table 3- Evaluation of the efficiency of simulations (SDSM) during the basic statistical period of 1986-2005 in Hajiler basin

متوسط حداقل دما Average Minimum Temperature	متوسط حداکثر دما Average Maximum Temperature	بارش (مجموع) Precipitation (Total)	معیارهای آماری Statistical Criteria
0.034	0.048	4.38	RMSE
0.026	0.039	3.30	MAE

با توجه به نتایج شکل ۲ و جدول ۳، مشخص شد که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط عنصرهای پیش‌بینی کننده‌ی منتخب با داده‌های مشاهداتی در طول دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۰۵ تطابق خوبی دارند که در این میان تطابق دمای حداقل و حداکثر با ۰.۳۴ RMSE و ۰.۰۴۸ MAE و ۰.۰۲۶ و ۰.۰۳۹. بیشتر از پارامترهای بارش هستند. بر این اساس، مشخص شد که عنصرهای پیش‌بینی کننده‌ی منتخب از کارایی مناسب و قابل قبولی جهت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مورد نظر برای دوره‌های آبی برخوردارند.

- شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی محدوده حوضه حاجیلر تا سال ۲۱۰۰

پس از کنترل دقت مدل برای دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌های آبی شد. مدل را برای چهار دوره ۱۸ ساله بر اساس سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 و مدل جهانی CanESM2 برای منطقه حوضه تولید و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی واقع گردید.

- بررسی تغییرات بارش

سناریوهای مختلف RCP جهت ارزیابی تغییرات بارش برای چهار دوره نسبت به دوره پایه در جدول ۴ و نمودارهای شکل ۳ نشان می‌دهد که با توجه به مجموع بارش مشاهده شده منطقه مورد مطالعه و مقادیر پیش‌بینی شده طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ برای هر ۴ دوره ۱۸ ساله بر اساس سناریوهای RCP۲.۵ و RCP۴.۵ در فصل بهار کاهش بارش و طبق سناریو RCP ۸.۵ برای ماه‌های آوریل و می افزایش و مجدد برای ماه ژوئن کاهش بارش پیش‌بینی می‌گردد، کاهش بارش در آخر این دوره در ماه ژوئن در تمام دوره‌ها و تمام سناریوها به‌ویژه در سناریو ۸.۵ به شدت خود را نشان می‌دهد. در تمام فصل تابستان روند افزایش بارش در تمام دوره‌ها در RCP۲.۵ نسبت به سطح پایه به‌طور محسوسی قابل مشاهده است. این شرایط در دو ماهه نخست

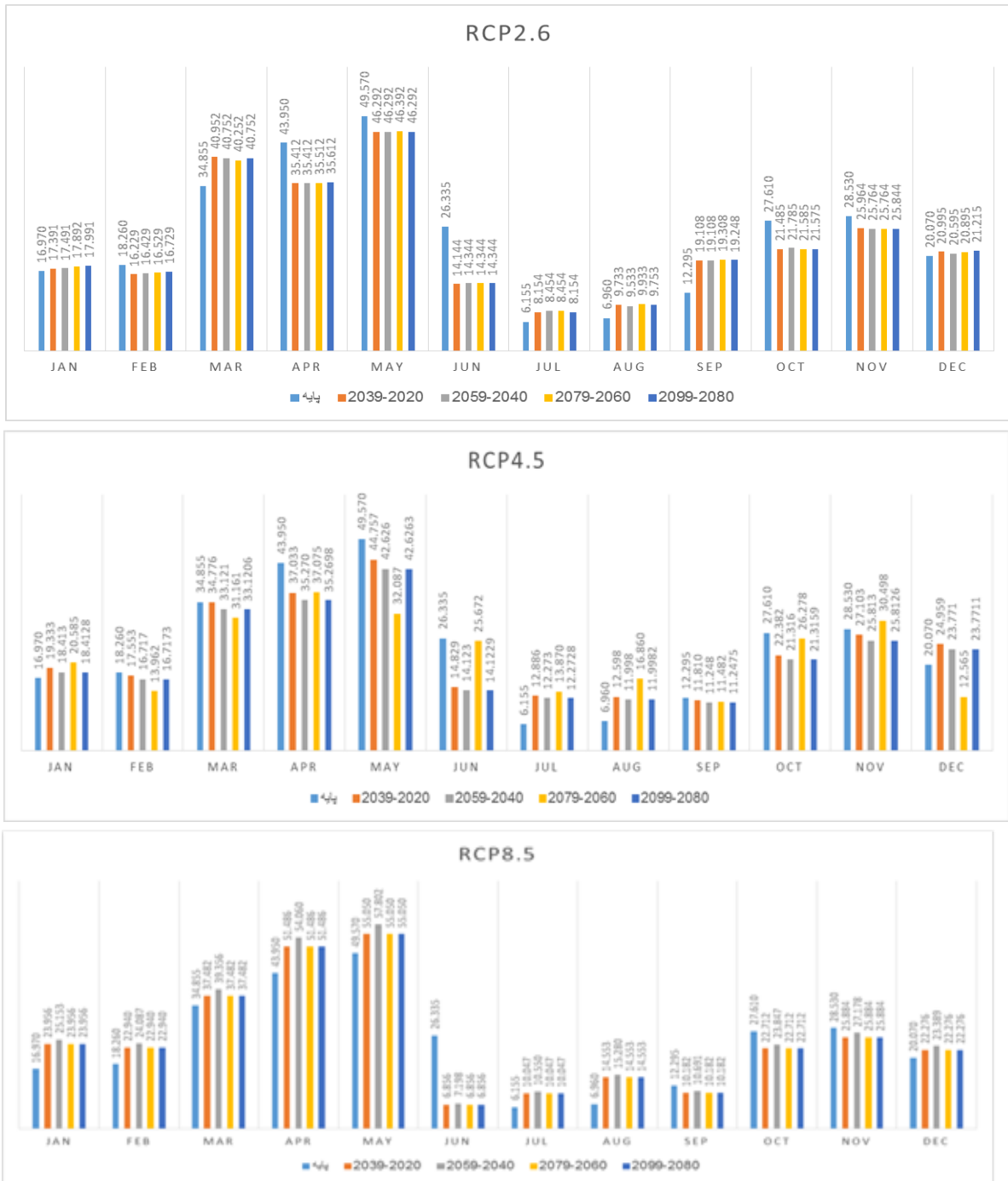
RCP های ۴.۵ و ۸.۵ در تمام دوره‌ها روند افزایشی خود را حفظ می‌کند و در ماه آخر به سمت کاهش بارش تمایل یافته و ادامه این روند در پاییز در تمام دوره‌ها و تمام سناریوها غیر از ماه نوامبر در RCP ۴.۵ در دوره زمانی ۲۰۶۰-۲۰۷۹ با شتاب بیشتری خود را نشان می‌دهد. در فصل زمستان نیز عموماً در سناریو RCP ۸.۵ در تمام دوره‌های زمانی افزایش بارندگی و در ماه دوم و سوم در سناریوهای ۲.۶ و ۴.۵ کاهش بارندگی نسبت به دوره پایه محسوس است.

تغییر اقلیم به دو شکل می‌تواند بر روی بارش نقش داشته باشد یکی به شکل تغییر در مقدار بارش و دیگری تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد، شرایط بارش نشان می‌دهد که دوره زمانی توزیع بارش از حالت زمان طبیعی خارج و تمایل به بی‌نظمی و خارج از فصول مناسب شدت می‌یابد که نشان‌دهنده تغییرات میزان و زمانی الگوی بارش در دوره‌های آتی در منطقه است. این شرایط آتی می‌تواند خشکسالی‌های گسترده‌ای نسبت به شرایط حال ایجاد، فرسایش را افزایش و تولیدات کشاورزی را کاهش دهد که لزوم اتخاذ سیاست‌ها و تصمیمات مناسب برای این موضوع را از هم اکنون مطرح می‌کند.

جدول ۴- تغییرات مجموع بارش ماهانه پیش‌بینی شده، به نسبت میانگین بارش واقعی طی دوره‌ها

Table 4- Changes in total predicted monthly rainfall, compared to the average actual rainfall during the periods

rcp8.5					rcp4.5					rcp2.6					month
2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	
23.9556	23.9556	25.1533	23.9556	16.97	18.4128	20.5854	18.4128	19.3331	16.97	17.991	17.892	17.491	17.391	16.97	Jan
22.9398	22.9398	24.0866	22.9398	18.26	16.7173	13.9615	16.7173	17.5529	18.26	16.7285	16.5285	16.4285	16.2285	18.26	Feb
37.4824	37.4824	39.356	37.4824	34.855	33.1206	31.1609	33.1206	34.7759	34.855	40.7515	40.2515	40.7515	40.9515	34.855	Mar
51.4859	51.4859	54.0598	51.4859	43.95	35.2698	37.075	35.2698	37.033	43.95	35.6117	35.5117	35.4117	35.4117	43.95	Apr
55.0498	55.0498	57.8017	55.0498	49.57	42.6263	32.0868	42.6263	44.7572	49.57	46.2917	46.3917	46.2917	46.2917	49.57	May
6.85565	6.85565	7.19845	6.85565	26.335	14.1229	25.6724	14.1229	14.8291	26.335	14.344	14.344	14.344	14.144	26.335	Jun
10.0474	10.0474	10.5498	10.0474	6.155	12.2728	13.8704	12.2728	12.8863	6.155	8.15415	8.45385	8.45385	8.15385	6.155	Jul
14.5525	14.5525	15.28	14.5525	6.96	11.9982	16.8598	11.9982	12.598	6.96	9.75285	9.93285	9.53285	9.73285	6.96	Aug
10.182	10.182	10.6912	10.182	12.295	11.2475	11.4816	11.2475	11.81	12.295	19.2479	19.3079	19.1079	19.1079	12.295	Sep
22.7117	22.7117	23.8468	22.7117	27.61	21.3159	26.2783	21.3159	22.3816	27.61	21.575	21.585	21.785	21.485	27.61	Oct
25.8838	25.8838	27.1778	25.8838	28.53	25.8126	30.4975	25.8126	27.1032	28.53	25.8437	25.7637	25.7637	25.9637	28.53	Nov
22.2761	22.2761	23.3894	22.2761	20.07	23.7711	12.5653	23.7711	24.9592	20.07	21.2149	20.8949	20.5949	20.9949	20.07	Dec



شکل ۳- تغییرات میزان بارش در محدوده حوضه در دوره‌های زمانی ۲۰۲۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۵۹، ۲۰۶۰-۲۰۷۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در مقایسه با دوره مشاهده آتی ۱۹۸۶-۲۰۰۵

Fig.3. Rainfall changes in the basin in the time periods of 2039-2020, 2040-2059, 2079-2060 and 2099-2080 in comparison with the observation period of 2005-1986

-بررسی تغییرات متوسط دمای حداکثر

طبق برآورد مدل و نتایج مندرج در جدول ۵ و نمودارهای شکل ۴، متوسط دمای حداکثر در منطقه مورد مطالعه به طور کلی در تمام سناریوها در کلیه دوره‌های زمانی پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. روند افزایشی دما در تمام سناریوها عمدتاً در ماه‌های اول میلادی ژانویه و فوریه با شیب ملایم بوده و به تدریج با شروع ماه‌های گرم از ماه مارس تا نوامبر روند افزایش در کلیه دوره‌ها نسبت به دوره پایه شتاب بیشتری به خود می‌گیرد حداکثر افزایش دما در سناریو RCP۲.۶ در طی دوره‌های پیش‌بینی شده حدود ۱.۵۶ درجه سانتی‌گراد و مربوط به دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۵۹ بوده و بیشترین متوسط دمای حداکثر مربوط به ماه آگوست دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با میزان ۲۹.۵۸ در این سناریو می‌باشد.

در سناریوهای ۴.۵, RCP۸.۵ روند افزایش حداکثر دما در ماه‌های میانی در تمام دوره‌ها نسبت به دوره پایه شتاب بیشتری نسبت به سناریو RCP۲.۶ به خود می‌گیرد. در سناریو RCP۴.۵ بیشترین میزان افزایش مربوط به ماه جولای در دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با میزان اختلاف ۱.۵۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه پیش‌بینی شده است و میزان افزایش با اختلاف کمتری نسبت به این درجه تا آخر سال ادامه میلادی می‌یابد. در سناریو RCP ۸.۵ روند افزایش دما در کلیه دوره‌ها مشهود بوده و حداکثر میزان اختلاف مربوط به ماه جولای دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با میزان ۱.۶۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد این روند افزایشی دما تا ماه‌های آخر سال ادامه داشته اما نسبت به این میزان اختلاف تعدیل می‌گردد.

جدول ۵- تغییرات متوسط حداکثر دمای ماهانه پیش‌بینی شده، به نسبت میانگین بارش واقعی طی دوره‌های

مختلف (۲۰۲۰-۲۰۹۹)

Table 5- The average changes of the predicted maximum monthly temperature, in relation to the average actual precipitation during different periods (2020-2099)

RCP8.5					RCP4.5					RCP2.6					ماه
2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	
3.53	3.89	3.55	3.76	3.49	3.67	3.92	3.56	4.16	3.49	3.50	3.69	3.60	3.98	3.49	Jan
4.60	4.79	4.22	4.75	4.54	4.95	4.65	4.42	5.09	4.54	5.02	4.86	4.70	4.64	4.54	Feb
9.59	9.68	9.52	10.02	9.35	10.28	10.17	9.68	9.91	9.35	10.17	9.60	9.76	10.22	9.35	Mar
17.44	17.14	17.14	17.06	16.34	17.57	17.40	17.34	17.13	16.34	17.42	17.14	16.97	17.11	16.34	Apr
22.13	21.99	21.95	21.61	20.72	22.13	21.49	22.05	21.72	20.72	21.92	21.87	21.77	21.86	20.72	May
27.16	26.99	26.86	26.77	25.66	26.49	26.88	27.12	26.65	25.66	27.12	27.12	26.88	26.73	25.66	Jun
29.66	29.40	29.58	29.36	28.01	29.54	29.23	29.64	29.45	28.01	29.57	29.41	29.50	29.63	28.01	Jul
29.37	29.30	29.37	29.62	28.11	29.23	29.28	29.58	29.66	28.11	29.59	29.29	29.46	29.63	28.11	Aug
25.52	25.70	25.95	25.76	24.66	25.60	25.90	25.90	25.77	24.66	25.69	25.66	26.21	26.14	24.66	Sep
19.52	19.76	19.45	19.16	18.77	20.08	19.55	19.30	19.55	18.77	19.58	19.34	19.78	19.89	18.77	Oct
12.00	11.61	11.85	12.05	11.42	12.04	12.19	11.82	11.94	11.42	12.15	11.68	12.31	12.43	11.42	Nov
5.99	6.21	5.91	6.21	5.90	6.81	6.40	5.91	6.04	5.90	6.22	6.44	5.94	6.21	5.90	Dec



شکل ۴- تغییرات متوسط دمای حداکثر در محدوده حوضه در دوره‌های زمانی ۲۰۲۳۹-۲۰۲۰، ۲۰۲۰-۲۰۵۹-

۲۰۰۶-۲۰۴۰، ۲۰۷۹-۲۰۸۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در مقایسه با دوره مشاهده آبی ۱۹۸۶-۲۰۰۵

Fig.4. average changes of the maximum temperature in the basin in the time periods of 2059-2039, 2079-2020, 2060-2040 and 2099-2080 in comparison with the observation period of 2005-1986

-بررسی تغییرات متوسط دمای حداقل:

همان‌طورکه در جدول ۶ و شکل ۵ نشان داده شده است، روند کلی متوسط دمای حداقل پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در هر سه سناریو و در تمام دوره‌ها روند افزایشی می‌باشد. بیشترین افزایش دما در سناریو RCP۲.۶ مربوط به ماه ژوئن دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با میزان اختلاف ۱.۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه می‌باشد با این حال روند افزایش دما در این سناریوها در تمام دوره‌ها از یک روند پایدار تبعیت می‌کند و اختلاف به صورت کاهش یا افزایش چشمگیر در این سناریو مشاهده نمی‌شود.

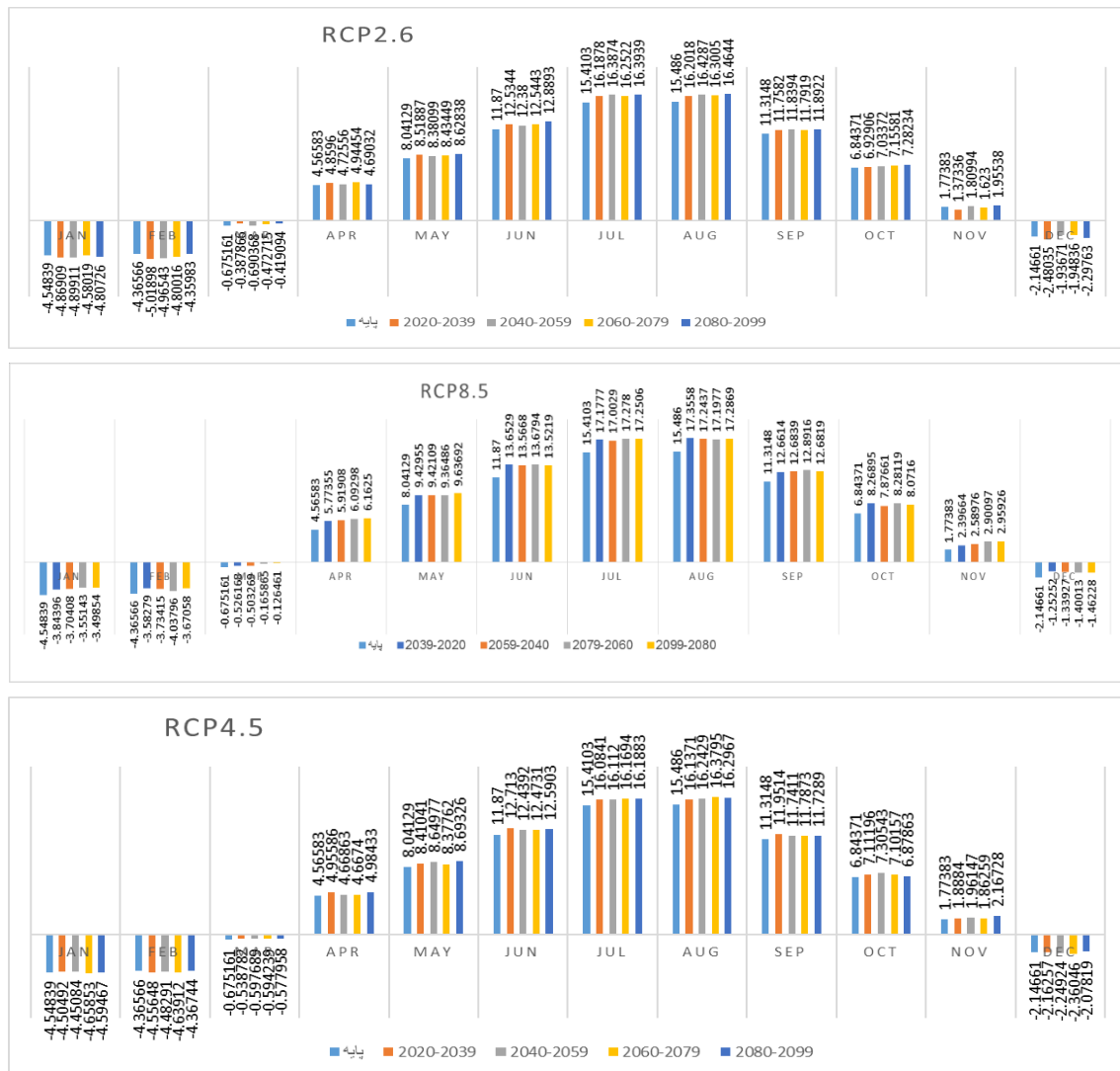
در سناریو RCP ۴.۵ روند افزایش متوسط حداقل دما در تمام دوره‌های زمانی کماکان ادامه داشته و بالاترین این میزان مربوط به ماه سپتامبر دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با میزان اختلاف ۱.۴۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه می‌باشد. این میزان افزایش دما در خلال ماه‌های آتی در تمام دوره‌ها روند کاهشی به خود گرفته به طوری که در ماه‌های آخر سال میزان اختلاف به کمتر از ۰.۵ درجه در طی دوره‌ها نسبت به دوره پایه می‌باشد. در سناریو RCP ۸.۵ میزان اختلاف افزایشی دما در تمام دوره‌های زمانی نسبت به دوره پایه با شتاب بیشتری قابل مشاهده است و دما هر چه قدر به ماه‌های گرم سال‌های پیش‌بینی شده نزدیک‌تر می‌شود میزان اختلاف دما هم نسبت به زمان پایه هم بیشتر می‌گردد به طوری که اختلاف افزایش دما در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست نزدیک ۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه می‌گردد. این روند به تدریج با کاهش میانگین دما در ماه‌های آخر سال در تمام دوره‌ها کاهش و تا میزان ۱.۱۰ الی ۱.۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایشی ماه دسامبر در خلال دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۹ تعدیل می‌یابد.

جدول ۶- تغییرات متوسط حداقل دمای ماهانه پیش‌بینی شده، به نسبت میانگین بارش واقعی طی دوره‌های

مختلف (۲۰۲۰-۲۰۹۹)

Table 6- The average changes of the predicted monthly minimum temperature, in relation to the average actual precipitation during different periods (2020-2099)

RCP8.5				RCP4.5					RCP2.6				ماه		
2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	2080-2099	2060-2079	2040-2059	2020-2039	پایه	2080-2099	2060-2079	2040-2059		2020-2039	پایه
-3.49854	-3.55143	-3.70408	-3.84396	-4.54839	-4.59467	-4.65853	-4.45084	-4.50492	-4.54839	-4.80726	-4.58019	-4.89911	-4.86909	-4.54839	Jan
-3.67058	-4.03796	-3.73415	-3.58279	-4.36566	-4.36744	-4.63912	-4.48291	-4.55648	-4.36566	-4.35983	-4.80016	-4.96543	-5.01898	-4.36566	Feb
-0.12646	-0.16587	-0.50327	-0.52617	-0.67516	-0.57796	-0.59424	-0.59769	-0.53878	-0.67516	-0.41909	-0.47272	-0.69037	-0.38787	-0.67516	Mar
6.1625	6.09298	5.91908	5.77355	4.56583	4.98433	4.6674	4.66863	4.95586	4.56583	4.69032	4.94454	4.72556	4.8596	4.56583	Apr
9.63692	9.36486	9.42109	9.42955	8.04129	8.69326	8.37762	8.64977	8.41041	8.04129	8.62838	8.43449	8.38099	8.51887	8.04129	May
13.5219	13.6794	13.5668	13.6529	11.87	12.5903	12.4731	12.4392	12.713	11.87	12.8893	12.5443	12.38	12.5344	11.87	Jun
17.2506	17.278	17.0029	17.1777	15.4103	16.1883	16.1694	16.112	16.0841	15.4103	16.3939	16.2522	16.3874	16.1878	15.4103	Jul
17.2869	17.1977	17.2437	17.3558	15.486	16.2967	16.3795	16.2429	16.1371	15.486	16.4644	16.3005	16.4287	16.2018	15.486	Aug
12.6819	12.8916	12.6839	12.6614	11.3148	11.7289	11.7873	11.7411	11.9514	11.3148	11.8922	11.7919	11.8394	11.7582	11.3148	Sep
8.0716	8.28119	7.87661	8.26895	6.84371	6.87863	7.10157	7.30543	7.11196	6.84371	7.28234	7.15581	7.03372	6.92906	6.84371	Oct
2.95926	2.90097	2.58976	2.39664	1.77383	2.16728	1.86259	1.96147	1.8884	1.77383	1.95538	1.623	1.80994	1.37336	1.77383	Nov
-1.46228	-1.40013	-1.33927	-1.25252	-2.14661	-2.07819	-2.36046	-2.24924	-2.16257	-2.14661	-2.29763	-1.94836	-1.93671	-2.48035	-2.14661	Dec



شکل ۵- تغییرات متوسط دمای حداقل در محدوده حوضه در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۲۰، ۲۰۵۹، ۲۰۴۰-۲۰۷۹، ۲۰۶۰-۲۰۹۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در مقایسه با دوره مشاهداتی ۱۹۸۶-۲۰۰۵

Fig.5. Average minimum temperature changes in the basin area in the periods of 2059-2039, 2079-2020, 2060-2040, and 2099-2040 compared to the observation period of 2005-1986

-آزمون آماری کولموگروف اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک

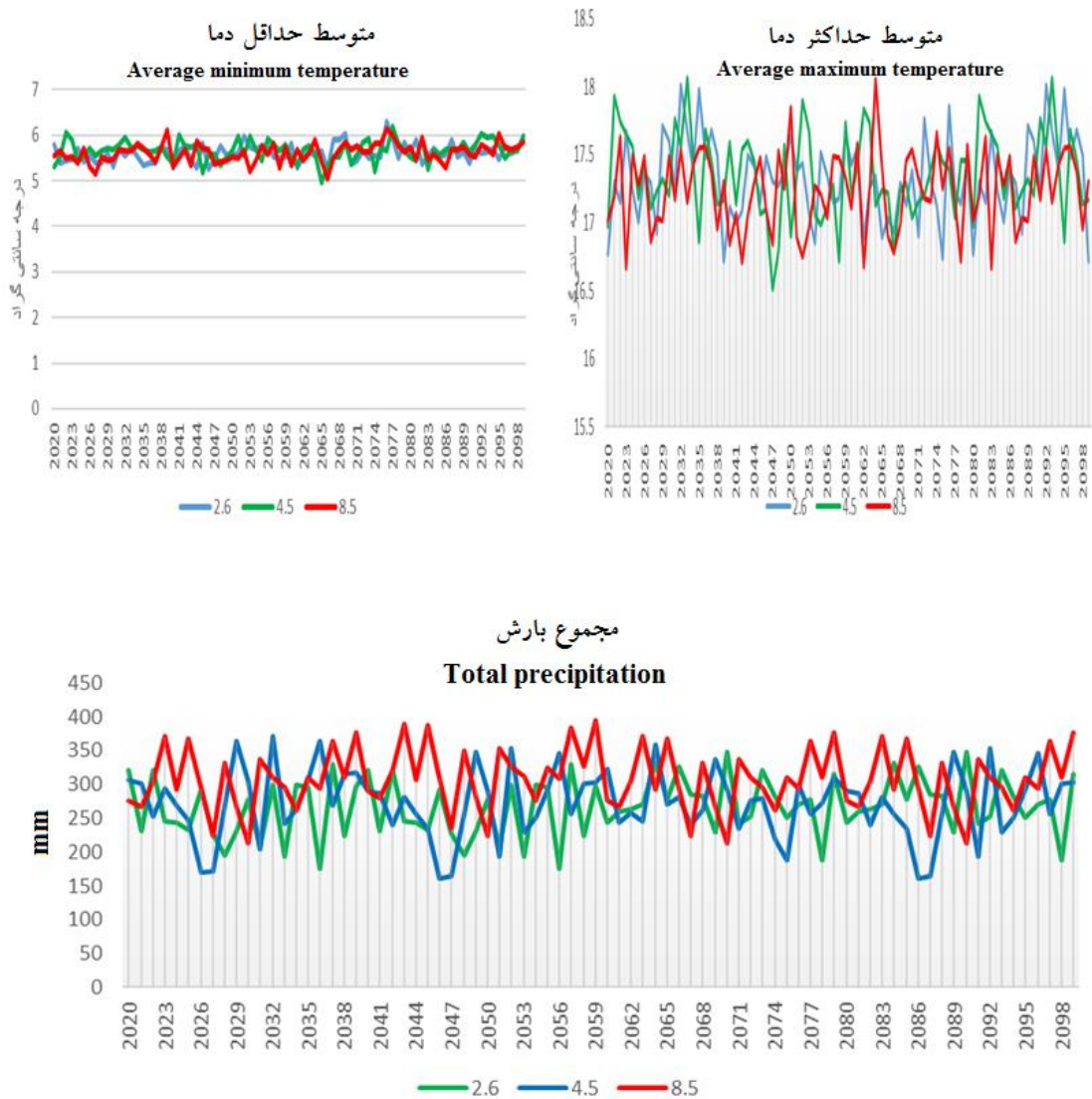
طبق نتایج حاصل از آزمون آماری کولموگروف اسمیرنوف (K-S) و شاپیرو-ویلک که نتایج آن در جدول ۷ و شکل ۶ نشان داده شده است، روند بارش در سناریوی RCP ۲.۶ و RCP ۴.۵ نرمال می‌باشد، اما در RCP ۸.۵ بارش دارای روند غیر نرمال در هر دو آزمون کولموگروف اسمیرنوف (K-S) و شاپیرو-ویلک می‌باشد. در رابطه با عنصر دما در آزمون کولموگروف اسمیرنوف در هر دو عنصر دما در سناریوهایی RCP ۲.۶

و RCP۴.۵ وضعیت افزایشی دما نرمال می‌باشد اما در سناریوی RCP ۸.۵ در متوسط حداکثر دما وضعیت غیر نرمال، اما در متوسط حداقل دما مجدداً وضع نرمال می‌باشد.

جدول ۷- مقدار آماری کولموگروف اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک در سه سناریو و برای چهار دوره آتی

Table 7- The statistical value of Kolmogorov Smirnov and Shapiro-Wilk in three scenarios and for four future periods

شاپیرو-ویلک Shapiro-Wilk			کولموگروف-اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov			آزمون Test
8.5	4.5	2.6	8.5	4.5	2.6	سناریو Scenario
						پارامتر Parameter
0.023	0.049	0.09	0.009	0.2	0.2	بارش Precipitation
0.09	0.78	0.34	0.04	0.17	0.2	متوسط دمای حداکثر Average maximum temperature
0.80	0.45	0.075	0.2	0.19	0.2	متوسط دمای حداقل Average minimum temperature



شکل ۶- نمودار تغییر روند عناصر اقلیمی دما و بارش از سال ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰

Fig. 6. Chart of changes in the climate elements of temperature and precipitation from 2020 to 2100

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش با استفاده از مدل خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی هوا در محدوده حوضه حاجیلر اقدام و برای این منظور از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵، و RCP ۸.۵ برای دوره‌های آبی تا سال ۲۱۰۰ استفاده گردید. نتایج نشان داد در روند سالانه داده‌های بارش دارای همبستگی ضعیفی با داده‌های مشاهده‌ای داشته‌اند اما داده‌های دما همبستگی بهتری با داده‌های پایه از خود نشان دادند؛ این نتیجه به خاطر این است که عنصر

بارش یک متغیر گسسته و تحت تأثیر عوامل محیطی متفاوت بوده اما دما یک عنصر با توزیع احتمالی نرمال است و تغییرپذیری کمتری نسبت به عنصر بارش دارد این نتایج با نتایج تحقیقاتی محققانی همچون جعفری گدنه و همکاران (Jafary Godeneh et al., 2020)، زارعی و همکاران (Zarei et al., 2019)، علوی‌نیا (Alavinia, 2022) و عساکره و اکبرزاده (Asakereh & Akbarzadeh, 2017) همخوانی داشته همچنین نتایج خروجی این تحقیق نیز موید این موضوع بوده و توانایی مدل SDSM در کوچک‌مقیاس کردن داده‌های دما و بارش را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، مشخص گردید که تا ۲۱۰۰ متوسط حداکثر و حداقل دما دارای روند معنادار افزایشی بوده و مجموع بارش نسبت به فصول مختلف سال کاهش یا افزایش می‌یابد و توزیع نرمال بارش در فصول سال بیشتر به هم می‌خورد؛ به طوری که در ماه‌های منتهی به فصل بارش روند کاهشی و در ماه‌های سرد سال افزایشی می‌گردد با توجه به مجموع بارش مشاهده شده منطقه مورد مطالعه و مقادیر پیش‌بینی شده طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ برای هر ۴ دوره ۱۸ ساله بر اساس سناریوهای RCP ۲.۶ و RCP ۴.۵ در فصل بهار کاهش بارش و طبق سناریو RCP ۸.۵ برای ماه‌های آوریل و می افزایش و مجدد برای ماه ژوئن کاهش بارش پیش‌بینی می‌گردد، کاهش بارش در آخر این دوره در ماه ژوئن در تمام دوره‌ها و تمام سناریوها به‌ویژه در سناریو ۸.۵ به شدت خود را نشان می‌دهد. در تمام فصل تابستان روند افزایش بارش در تمام دوره‌ها در RCP ۲.۶ نسبت به سطح پایه به‌طور محسوس قابل مشاهده است. این شرایط در دو ماهه نخست RCP های ۴.۵ و ۸.۵ در تمام دوره‌ها روند افزایشی خود را حفظ می‌کند و در ماه آخر به سمت کاهش بارش تمایل یافته و ادامه این روند در پاییز در تمام دوره‌ها و تمام سناریوها غیر از ماه نوامبر در RCP ۴.۵ در دوره زمانی ۲۰۶۰-۲۰۷۹ با شتاب بیشتری خود را نشان می‌دهد. در فصل زمستان نیز عموماً در RCP ۸.۵ در تمام دوره‌های زمانی افزایش بارندگی و در ماه دوم و سوم در سناریوهای ۲.۶ و ۴.۵ کاهش بارندگی نسبت به دوره پایه محسوس است. در رابطه با عنصرهای دما، می‌توان گفت که روند کلی عنصرهای دمایی در دوره‌های آتی با روند طبیعی این عنصرها نسبت به دوره پایه در هماهنگی کامل است؛ به طوری که دما در طی فصول و برای تمام دوره‌ها دارای روند افزایشی محسوس بوده و این افزایش در ماه‌های گرم سال در تمام دوره‌ها دارای روند شتابداری نسبت به ماه‌های سرد سال می‌باشد. با توجه به نتیجه کلی برآمده از این تحقیق مبنی بر افزایش دما و کاهش بارش در فصول مناسب بارش، به نظر می‌رسد که در مباحث منابع آب، اقدامات آبخیزداری و کشاورزی شرایط پیش‌بینی شده باید مورد توجه بوده تا اثرات منفی تغییر اقلیم در محدوده مورد مطالعه به کمترین حد ممکن خود برسد.

References

- Ahmedabadi, A., & Sedighi Far, Z. (2017). Prediction of Climate Change Induced Hydrogeomorphology by using SDSM in CAN Watershed. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(51), 103-114. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.51.103>
- Alavinia, S. H. (2022). Analysis of Extreme Temperature Change Trend under Future Scenarios in order to Assess Climate Fluctuations (Case Study: Sanandaj and Saghez Synoptic Stations). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 11(41), 1-16. [In Persian] https://jargs.hsu.ac.ir/article_161521.html
- Alizadeh Pahlavan, H. & Zahraei, B. (2014). Statistical downscaling of precipitation to assess the effects of climate change on extreme events in urban areas. Paper presented at the Conference on Climate Change and a Road to a Sustainable Future papers, Tehran. [In Persian] <https://civilica.com/doc/269548/>
- Asakereh, H., & Akbarzadeh, Y. (2017). Simulation of Temperature and Precipitation Changes of Tabriz Synoptic Station Using Statistical Downscaling and Canesm2 Climate Change Model Output. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 6(1), 153-174. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geo.v6i1.54791>
- Brown, C. A., Sharp, D., & Collura, T. C. M. (2016). Effect of climate change on water temperature and attainment of water temperature criteria in the Yaquina Estuary, Oregon (USA). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.11.006>
- Charron, I. (2016). A guidebook on climate scenarios: Using climate information to guide adaptation research and decisions. *Ouranos*. https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-12/hors_proj-2016-charron-guide_scenario_en.pdf
- Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 149-161. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0129-6>
- Farajzadeh, M., Oji, R., Cannon, A. J., Ghavidel, Y., & Massah Bavani, A. (2015). An evaluation of single-site statistical downscaling techniques in terms of indices of climate extremes for the Midwest of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 377-390. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1157-4>
- Hamlet, A. F., & Lettenmaier, D. P. (2007). Effects of 20th century warming and climate variability on flood risk in the western US. *Water Resources Research*, 43(6), w06427. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2006AGUFM.H24B..05H/abstract>
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impact, adaption and Vulnerability. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden & C. E. Hanson (eds.), *Contribution of working group II to the Fourth Assessment report*. Cambridge UK: Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>
- IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge UK: Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>
- Jafary Godeneh, M., Salajeghe, A., & Haghighi, P. (2020). Forecast Comparative of Rainfall and Temperature in Kerman County Using LARS-WG6 Models. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), 529-538. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/ije.2020.298577.1294>

- Khan, M. S., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319(1-4), 357-382. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.035>
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., ... & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109, 33-57. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
- Santer, B. D., Taylor, K. E., Wigley, T. M., Johns, T. C., Jones, P. D., Karoly, D. J., ... & Tett, S. (1996). A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere. *Nature*, 382(6586), 39-46. <https://doi.org/10.1038/382039a0>
- Taheri Tizro, A., Khodamorad Pour, M., & Mashhadian, M. J. (2017). Evaluation of RegCM4 Regional Climate Model simulations for the land surface water budget components (A case study in Toyserkan plain, Hamedan province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(5), 1-24. [In Persian] <https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.11686.2616>
- Yue, T., Zhao, N., Fan, Z., Li, J., Chen, C., Lu, Y., ... & Wilson, J. (2016). CMIP5 downscaling and its uncertainty in China. *Global and Planetary Change*, 146, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.09.003>
- Zarei, K., Mohammadi, H., & Bazgeer, S. (2019). Simulation of Gorgan Synoptic Station Temperature and Precipitation with RCP Scenarios. *Physical Geography Research*, 51(4), 563-579. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.280943.1007378>