

Research Paper

The Effect of Climate Change on The Future Surface Water Resources of Khash Plain (Sistan and Balouchestan Province)

Amin Hosseini¹, Hossin jahantigh^{2*}, Farhad zolfaghari³, Mojtaba Mohammadi⁴

¹ MSc, Graduate, Desert Management and Control, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

² Assistant Professor, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

³ Assistant Professor, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

⁴ Assistant Professor, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran



10.22125/IWE.2023.398017.1720

Received:
May 18, 2023

Accepted:
October 7, 2023

Available online:
December 30, 2023

Keywords:
Climate change, climatic scenarios, surface water resources, Khash plain

Abstract

In this research, two categories were used to investigate the effect of the change of climate surface water of Khash plain. The data on 2010 to 2020 obtained from the Liz Hydrometer Station on the Syanjah River Khash Plain, on the other hand, the base rainfall data was obtained from the Khash Station. Based on the measured regression model, the base period of the relationship between Dubai and precipitation at the Khash basin level was modeled. With the implementation of the SDSM statistical microscale model, the simulated rainfall values were obtained in the statistical period of 2020-2040, under two lines of release 4.5 and 8.5, which was used as an input to the regression model for remodeling in the climate change period. The results showed that in the period of climate change 2040-2020, despite the fact that the rainfall of the Khash basin has increased in the cold months of the year, the simulated runoff of the period 2040-2020, in both RCP4.5 release trajectories and RCP8.5, has had a decreasing trend. The results indicated that the climate change period 2020-2040, in the RCP4.5 release, had reduced about 0.02 cubic meters per second to the base period, and in the RCP8.5 release track, this was a decrease of 0.016 cubic meters per second.

* Corresponding Author: Hossein Jahantigh

Address: Assistant Professor of Desert Management and Control, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Higher Education Complex of Saravan, Iran.

Email: hjahantigh5@gmail.com

Tel: +989111796773

Introduction

One of the biggest challenges of this century and one of the most important crisis-causing issues in the world is the issue of water shortage. Climate change refers to specific changes in the patterns that humans expect from the average state of climate that will occur over a long period of time in a specific region or for the entire climate of the planet. Climate change refers to certain changes in patterns that humans expect from the average climate situation that will occur in a specific region or for the entire climate of the planet over a long time. Climate change can be due to the dynamic processes of the earth or external factors such as changes in the intensity of sunlight or human activities) the increase in greenhouse gases. Climate change has a significant impact on surface water resources. The study of the status of these resources and their sustainability is important under the influence of these changes. . The phenomenon of climate change has significant effects on various systems, such as water resources, agriculture, health and industry. The continuous increase in greenhouse gases due to human activity increases the temperature of the air, changes in the pattern of rainfall and melting of snow, resulting in a change in access to drinking water and agriculture.

Methodology

To carry out the research, daily time data for climatic elements (rainfall, average temperature, minimum temperature and maximum temperature) for the statistical period 2010 to 2020 for hydrographic analysis and 1987 to 2019 for future modeling are sorted in Notepad file and pre-information The NCEP large-scale viewer was prepared according to the coordinates of the studied area in the global grid network at the CCSN site. Then temperature and precipitation data were checked with SDSM model for future forecasting and climate change. Finally, the hydrometric and climatic data were compared with the predicted data to determine the relationship between surface water changes and climate changes. The annual trend of climate parameters estimated rainfall and temperature was investigated with my in parametric test - Kendall and the slope of the age using the MAKESNS program. Finally, the results of the examination of different statistics were displayed as charts and tables. Also, to predict rainfall and temperature in the region, SDSM's statistical micro-metric method and to evaluate climate change, the Canon EM2 public circulation model, which came in the fifth report of the IPCC, is used under two RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

Results

The results of the data survey indicate that in the cold months of the year, a correlation between precipitation and Dubai is higher than the warm period of the year. In October to March, the correlation coefficient between rainfall and Dubai during the 2000-2020 statistical period was more than 0.25, all of which was significant at the confidence level of 0.95. But in the warm months of the year, this correlation has declined, so that from May to August the correlation has fallen below 20 percent, which has not been significant at the confidence level of 0.95. Accordingly, a linear regression model at a confidence level of 0.95 was developed to estimate and estimate the flow of the Cyanjah river based on Khash plain rainfall for the average discharge of the months that showed significant correlation with precipitation. The results showed that in the linear regression model developed on the flow and precipitation of the basin level, the rainfall coefficient was 0.005, and the width was from the origin of the developed vibrator model equal to 0.06. In the following, the comparison of the observations of the Laudis Hydrometric Station during the statistical period of 2010-2020 with the modeling discharge values of the regression model was carried out. The results showed that the correlation coefficient between the modeling flow and the observation flow is 0.55 and its coefficient is 0.30%. In the next section, the effect of climate change was restored in two climate variables, the average monthly temperature and the total monthly precipitation in Khash plain. The average temperature and total precipitation were simulated based on the daily data of the base period 1990-2020, using the SDSM statistical model for the period 2020-2040. This simulation is simulated under two scenarios of the fifth report of the IPCC, the existing RCP2.5 state-of-the-art scenarios and the pessimistic RCP8.5 scenario. The statistical specifications of this course are simulated. In both scenarios, average monthly temperature values have increased. This increase on an annual scale is such that the average annual temperature at the Khash basin level in the base period it is 20.3 ° C, which has reached 21.4 ° C in the RCP4.5 release line during the 2020-2040 change period to 21.3 ° C and in the RCP8.5 release course.

In both scenarios, the amount of monthly precipitation has increased. The average annual rainfall in the observation period was 150.44 mm, while in the RCP4.5 release garlic line, this annual precipitation was 203 mm, an increase of 33% compared to the base period. In the RCP8.5 pessimistic release line, the average annual rainfall in the region is 211 mm, which has an increase of 40% compared to the base period.

Discussion and Conclusion

The results of the correlation analysis of the simulated rainfall and the flow of the Sijan River under the two scenarios RCP4.5 and RCP8.5 indicate that in the cold months of the year, a correlation between precipitation and Dubai is higher than the warm period of the year. In October to March, the correlation coefficient between precipitation and Dubai these months during the 2000-2020 period was about 0.26, all of which was significant at the confidence level of 0.95. But in the warm months of the year, this correlation has fallen, so that from May to August, the correlation rate has reached about 19 percent, which has not been meaningful at the confidence level of 0.95. The correlation coefficient has reached 0.1 in May and June, which indicates that there is no significant correlation between flow and precipitation in these months. But in September to December, the correlation between precipitation and Dubai in the plain was significant and direct. Another remarkable point is that the correlation between flow and precipitation has been direct throughout the months, which indicates that the hydrological regime of the basin and, in particular, the hydrological regime of the Sianah River, which was investigated based on the data of the Ladir hydrometer station, has an absolute dependence on precipitation. This correlation is more significant in the months of the cold season and falls to a large extent in the months of the summer season. The results of the linear regression model for the simulated precipitation of the climate change period 2020-2040, and the flow of the base course of the Cyanja Hydrometric Station, showed that the simulated precipitation coefficient of the RCP4.5 release garlic line was 0.0015 times the width of the origin of the developed model was 0.025. The balanced model, in the event that the independent variable input of the simulated rainfall model is the climate change period 2020-2040, can explain 19% of the flow variance of the hydrometer station. The model is balanced, in a case where the independent variable input of the simulated rainfall model is the climate change period 2020-2040, it can explain 40% of the flow variance of the Laudis Hydrometric Station.

Six important references

- 1) Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M. and Toros, H., 2016. Uncertainty analysis of the future changes in maximum daily temperatures over Iran using GIS . Geographical Data (SEPEHR). 25(97), 29-43 P.
- 2) Burn, D.H., 1994. Hydrologic effects of climate change in the west central Canada . Journal of Hydrology 160, 53 – 70.
- 3) Chang, L.H., Hunsaker, C.T., and Draves, J.D., 1992 . Recent research on effects of climate change on water resources. Water Resource Bulletin 28 (2), 273-286.
- 4) Eckhardt, K., & Ulbrich, U, 2003, Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. Journal of Hydrology, 284(1-4), 244-252.
- 5) Ghahreman, N., Babayan, A. and Tabataba'i, S.M., 2016. Dynamic Outbound Processing of Climate Models in Estimating Potential Evapotranspiration Changes under Radiation Injection Scenarios (Case Study: Mashhad Plain). Physics of Earth and Space. 42 (3), 687-696. (In Parsian)
- 6) Hassan M, Pengfei D, Jia Sh, Iqbal W, Mahmood R, Ba W, 2015, An Assessment of the South Asian Summer Monsoon Variability for Present and Future Climatologies Using a High-Resolution Regional Climate Model (RegCM) under the AR5 Scenarios. Atmosphere, 6(11), 1833-185



اثر تغییر اقلیم بر آینده جریان رودخانه‌ای دشت خاش (استان سیستان و بلوچستان)

امین حسینی^۱، حسین جهانتیغ^{۲*}، فرهاد ذوالفقاری^۳، مجتبی محمدی^۴

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

مقاله پژوهشی

چکیده

در این تحقیق برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم روی آب سطحی دشت خاش، از دودسته داده استفاده شد. داده‌های مربوط به دبی دوره پایه (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰) که از ایستگاه هیدرومتری لادیز بر روی رودخانه سیانجا دشت خاش اخذ شد، از طرف دیگر داده‌های بارش دوره پایه نیز از ایستگاه سینوپتیک خاش به دست آمد. بر اساس مدل رگرسیونی برازش داده‌شده دوره پایه ارتباط بین دبی و بارش در سطح حوضه خاش مدل‌سازی گردید. با اجرای مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM، مقادیر بارش شبیه‌سازی‌شده در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۰، تحت دو خط سیر انتشار ۴.۵ و ۸.۵ به دست آمد که به‌عنوان ورودی مدل رگرسیونی برای مدل‌سازی مجدد دبی در دوره تغییر اقلیم استفاده شد. نتایج بیانگر آن بود که در دوره تغییر اقلیم یعنی ۲۰۲۰-۲۰۴۰، علی‌رغم اینکه بارش سطح حوضه خاش در ماه‌های سرد سال، افزایش داشته است، اما دبی شبیه‌سازی‌شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، در هر دو خط سیر انتشار RCP4.5 و RCP8.5، روند کاهشی داشته است. نتایج بیانگر آن بود که دبی دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰، در خط سیر انتشار RCP4.5، حدود ۰.۰۲ مترمکعب در ثانیه نسبت به دوره پایه کاهش داشته است و در خط سیر انتشار RCP8.5 نیز این میزان کاهش برابر ۰.۱۶ مترمکعب در ثانیه بوده است. بنابراین این فرضیه تحقیق با توجه به یافته‌های تحقیق مورد تأیید قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس نمایی، سناریوهای اقلیمی، منابع آب سطحی، سیستان و بلوچستان

^۱ کارشناس ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

^۲ استادیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

(*) مسئول نویسنده ایمیل: h.jahantigh5@gmail.com

^۳ گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

^۴ گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران



مقدمه

تغییر اقلیم جهانی و افزایش دما از مسائل مهم زیست‌محیطی است که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی آن صورت گرفته است. این موضوع به دلیل اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت بالایی برخوردار است چراکه فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، صنایع و مانند آن بر مبنای ثبات و پایداری تغییر اقلیم می‌باشند (فیضی و همکاران، ۱۳۸۹). رژیم رودخانه‌ها متأثر از میزان بارش و دما است، که از جمله مهم‌ترین عناصر اقلیمی هستند. به‌طور کلی پیامدهایی نظیر خشک‌سالی‌ها، سیلاب‌های شدید و ناگهانی، امواج هوای سرد و گرم، از جمله آثار و شواهد ناهنجاری‌های اقلیمی است که کره زمین را با بحران‌های مختلف مواجه کرده است و بدون شناخت و آگاهی از وضعیت اقلیمی حال و آینده، مدیران و برنامه‌ریزان قادر به اجرای برنامه‌های مختلف نخواهند بود (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷). تغییر اقلیم، معادل تغییرات معنی‌دار آماری برای متوسط وضع آب‌وهوا در یک دوره طولانی است. این تغییرات می‌تواند در متوسط دما، بارندگی، الگوهای آب و هوایی، باد، تابش و پارامترهای مشابه آن باشد. اقلیم می‌تواند گرم‌تر و یا سردتر شود و مقادیر سالانه بارندگی یا برف می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد. در مقیاس کلی، افزایش تدریجی دمای کره زمین و اقیانوس‌ها را در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، مهم‌ترین عامل تغییر اقلیم می‌دانند. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آن‌ها بر اساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین شود. تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی مانند سری‌های مشاهداتی دما، بارش و جریان رودخانه در نقاط مختلف جهان استفاده شده است (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۹).

تغییرات اقلیمی یکی از پدیده‌های اجتناب‌ناپذیر برای قرن حاضر و آینده است (محمدی و نائینی، ۱۳۹۷). تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی به‌عنوان یک فاجعه و مشکل زیست‌محیطی مورد توجه محققان و پژوهشگران

است (میر دشت وان و همکاران، ۲۰۱۷). تغییر اقلیم در واقع تغییر شرایط آب و هوایی است که در آن متوسط عناصر اقلیمی به مدت طولانی دچار تغییر می‌شود. این تغییرات می‌تواند به علت نوسانات چرخه خورشیدی، تغییر کاربری اراضی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و فوران آتش‌فشان‌ها باشد (عباس نیا و همکاران، ۲۰۱۶). تغییر اقلیم به تغییرات دمای زمین و روند افزایشی آن با توجه به میانگین شرایط آب و هوایی در کل جهان، گفته می‌شود که تأثیرات مهمی روی منابع آب سطحی دارد (توکیمات و همکاران، ۲۰۱۹).

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر و یکی از مهم‌ترین مسائل بحران‌زا در عرصه جهانی موضوع کمبود آب و چالش‌های ناشی از آن است (زارعی و همکاران، ۲۰۲۱). تغییر اقلیم بیانگر تغییرات مشخص در الگوهایی است که بشر از وضعیت میانگین آب و هوایی انتظار دارد که در طولانی‌مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم کره زمین، رخ می‌دهد (حسینی و نظری، ۲۰۱۵). تغییر اقلیم نشان‌دهنده تغییرات غیرعادی در اقلیم درون اتمسفر زمین و نتایج ناشی از آن در نقاط مختلف کره زمین است. تغییر اقلیم می‌تواند به علت فرآیندهای دینامیکی زمین و یا عوامل بیرونی همچون تغییرات در شدت تابش آفتاب و یا فعالیت‌های انسانی) بیشتر شدن گازهای گلخانه‌ای باشد (قهرمان و همکاران، ۲۰۱۶). بسیاری از تغییرات درونی در سیستم اقلیمی زمین با تأخیر اتفاق می‌افتد، زیرا این سیستم بسیار بزرگ است و با ورودی‌های با تأخیر پاسخ می‌دهد (زارعی و همکاران، ۲۰۲۱). تغییرات اقلیمی تأثیرات قابل توجهی بر منابع آب سطحی دارد. بررسی وضعیت این منابع و حفظ پایداری آن‌ها تحت تأثیر این تغییرات اهمیت بالایی دارد (نوری و بانیان، ۲۰۱۹) بنا بر چهارمین گزارش هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیمی بسیار مایو کننده است که هنوز مطالعات محدودی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی انجام شده است (ناصری و سلامی، ۲۰۱۶). پدیده تغییر اقلیم اثرات قابل‌ذکری بر روی سامانه‌های گوناگون مانند منابع آب، کشاورزی، بهداشت و صنعت دارد. افزایش پیوسته گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های

جنوبی شرقی در دامنه جنوبی آتشفشان تفتان قرار دارد. از دید علم زمین‌شناسی منطقه‌ی موردنظر در بخشی از کمربند چین گسل خورده و به شدت شکسته شده‌ی نهپندان - خاش قرار گرفته است و ب طور کلی بیشتر سطح آن با رسوبات آبرفتی دامنه‌های جنوبی کوه تفتان که به وسیله جریان‌های آب سطحی و سیلابی به منطقه حمل شده‌اند، پوشیده می‌شود. آب‌وهوای خشک، کمبود بارندگی، تبخیر شدید، خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت و شدید، کمبود رودخانه‌های دائمی و منابع آبی محدود موجب بحران آب در این منطقه شده است. با توجه به شرایط ذکر شده و استفاده بیش از حد از منابع آبی و ایجاد مشکلات اقتصادی برای بهره‌برداران و آگاه بودن از این شرایط اثرات تغییرات اقلیمی یک موضوع مهم در منطقه موردنظر است. با توجه به اهمیت موضوع تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب‌های سطحی دشت خاش مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب سطحی و پیش‌بینی آن در پهنه دشت خاش با استفاده از مدل cmip5 و سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ طی دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۴۰) است.

مطالعات انجام‌گرفته در مورد تغییرات اقلیم بر محور تغییرات دما متمرکز هست. در این مورد تحقیقات بسیار گسترده‌ای در ارتباط با روند افزایش متوسط دمای جهانی و منطقه‌ای انجام گرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به کار چانگ و همکاران^۴ (۱۹۹۲)، اشاره کرد که تأثیر اقلیم بر منابع آب را به‌طور کامل بررسی کرده‌اند. برن^۵ (۱۹۹۴)، با به‌کارگیری آزمون آماری نا پارامتری بررسی کرد که چگونه تغییر اقلیم بر زمان وقوع رواناب بهاری در مرکز و غرب ناحیه کانادا تأثیر می‌گذارد. اکارت و آلبریج (۲۰۰۳)، اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب‌های زیرزمینی و جریان آبراه‌های در مرکز اروپا را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، تأثیرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی و جریان آبراه‌های در محدوده ارتفاعات پایین اروپا توسط مدل SWAT تحت دو سناریوی تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق نشان داده شد که در دوره زمانی ۲۰۹۰ - ۲۰۷۰ در فصل تابستان متوسط تغذیه ماهانه آب زیرزمینی و جریان

انسانی باعث بیشتر شدن دمای هوا، تغییر در الگوی بارش و ذوب برف می‌شود که نتیجه آن تغییر در دسترسی به آب شرب و کشاورزی است (IPCC, ۲۰۰۷).

طی دهه‌های گذشته چندین گروه مطالعاتی و همچنین فعالیت‌های مشترک بین‌المللی از جمله هیئت بین‌کشوری تغییر اقلیم IPCC با استفاده از مدل‌های اقلیم جهانی، مجموعه‌ای از داده‌های پیش‌بینی شده از شرایط گذشته و آینده اقلیم جهان ارائه کرده‌اند (IPCC, ۲۰۰۷). این مدل‌ها یکی از متداول‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده هستند؛ زیرا مدل‌های اقلیمی ابزار مناسب برای مطالعه‌ی سازوکار تغییرات اقلیم گذشته و آینده هستند (ژوئن و همکاران، ۲۰۱۰). هم‌اکنون در سطح جهان مراکز و مدل‌های گوناگونی برای مدل‌سازی وضعیت اقلیم دهه‌های آینده کره زمین با استفاده از سناریوهای انتشار، ساختار فیزیکی و محاسباتی گوناگونی وجود دارد. شبیه‌سازی‌های مدل‌های اقلیم جهانی توسط پروژه هم‌سنج مدل جفت (CMIP³) آرشو شده است که یکی از مهمترین منابع برای بررسی شرایط آب و هوایی قرن بیست و یکم هستند (مارنگو و همکاران، ۲۰۱۴). شبیه‌سازی‌های فاز سوم CMIP به‌طور گسترده‌ای در سطح جهان مورد بررسی قرار گرفته است و با چهارمین گزارش تغییر اقلیم هیئت بین‌کشوری تلفیق شده است. طی سال‌های گذشته شبیه‌سازی‌ها برای فاز پنجم پروژه CMIP به اتمام رسیده است و به‌طور گسترده در گزارش پنجم ارزیابی اقلیم جهانی توسط IPCC نمایان شده است (هیئت بین‌کشوری تغییر اقلیم، ۲۰۰۷؛ تیلور و همکاران، ۲۰۱۲). شبیه‌سازی‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو که بخشی از CMIP5 هستند، مبنایی برای بسیاری از نتیجه‌گیری‌های هیئت بین‌الدول در ارتباط با تغییرات اقلیمی آینده است. از این داده‌ها به‌صورت مستقیم و یا پس از ریزمقیاس‌نمایی برای ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای استفاده می‌شود (IPCC, ۲۰۱۳).

دشت خاش که شامل سفره‌ی آب زیرزمینی منطقه است در حوضه‌ی آبریز خاش قرار دارد. این حوضه با وسعت حدود ۱۸۶۶ کیلومتر مربع به‌صورت نواری با امتداد شمال غربی -

5. Burn

3 Coupled Model Intercomparison Project

4 Chang et al



بارش و دما را در سطوح احتمال ۹۰، ۵۰، ۱۰ درصد محاسبه کرده‌اند. میزان تغییرات بارش و دما در سطح احتمال ۹۰ درصد برای سناریوی انتشار A2، به علت ایجاد افت حداکثر سطح آب زیرزمینی به‌عنوان بحرانی‌ترین شرایط استفاده شد. نتایج نشان داد که در دوره آینده (۲۰۴۵-۲۰۱۵)، سطح ایستابی آبخوان منطقه به مقدار ۳۸ متر افت خواهد داشت. معروفیور و همکاران (۲۰۱۸) با مدل‌سازی آبخوان اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی را بررسی کرده‌اند و نتایج پیش‌بینی تحت سناریوهای مختلف نشان‌دهنده آن است که بارندگی در سال ۲۰۲۰ و در سال ۲۰۵۰ به میزان ۱۵ و ۱۵ درصد کاهش خواهد یافت و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کاهش تراز آب زیرزمینی در دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم است. میکسنر و همکاران (۲۰۱۶) و همچنین روسمن و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیم در تغذیه آب‌های زیرزمینی به ترتیب در آبخوان دشت‌های مرتفع ایالات متحده آمریکا، غرب ایالات متحده و ناحیه سندهیلز نبراسکا، ایالت متحده آمریکا پرداخته‌اند و نتایج بیانگر افزایش و کاهش تغذیه در دشت‌های گوناگون منطقه مورد مطالعه بود.

در ایران نیز مطالعات متعدد زیادی در این زمینه انجام گرفته که چند نمونه از آن‌ها در ذیل خواهند آمد:

انصاری (۱۳۹۰)، با بررسی اثر نوسانات اقلیمی بر تغییرات دبی رودخانه کاجو و اثرات آن بر کشاورزی منطقه باهوکلات در استان سیستان و بلوچستان به این نتیجه رسید که در رابطه معناداری بین نوسانات عناصر اقلیمی و دبی رودخانه وجود داشته است. رابطه بین دبی و کشاورزی (سطح زیر کشت و تولید سالانه) نیز رابطه معناداری است. بین نوسانات عناصر اقلیمی و کشاورزی (سطح زیر کشت و تولید سالانه) هیچ‌گونه رابطه‌ای وجود نداشته است. بایزیدی و همکاران (۱۳۹۱)، با بررسی آشکارسازی تغییر اقلیم بر حوضه دریاچه ارومیه به این نتیجه رسیدند که به دلیل افزایش دما و میزان مصرف و همچنین قرارگرفته در خشک‌سالی اخیر سطح آب دریاچه ارومیه قادر به بهبود خود نبوده و افت سطح آب دریاچه به‌طور شدیدی روند کاهشی داشته است.

آبراه‌های تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. مانیب و همکاران (۲۰۰۴)، در پژوهشی با شبیه‌سازی تأثیر گرمایش جهانی بر تغییرات آبدی رودخانه در عرض‌های مختلف کره‌ی زمین‌های به این نتیجه رسیدند که اثرات این گرمایش در قطب شمال و نواحی استوایی به‌صورت افزایش؛ و در عرض‌های میانه و مناطق گرمسیری به‌صورت کاهش دبی بوده است. همچنین توین و همکاران (۲۰۰۵)، در تحقیقی با عنوان اثر ال نینو - نوسان جنوبی در آب‌وهوا، تعادل آب و جریان در حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی نشان دادند که در زمان انسو ناهنجاری‌های قابل‌توجهی در داخل حوضه می‌سی‌سی‌پی رخ داده است. اما این الگوهای هیدرولوژیکی با فصل، محل، و فاز ENSO متفاوت می‌باشند. اویبانه و ادونگا (۲۰۱۰)، با بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر عمق سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در آفریقای غربی بیان کردند که خشک‌سالی‌های اخیر، تأثیر زیادی بر سطح آب زیرزمینی حوضه رودخانه‌های سنگال، نیجر و ولتای باسین داشته است. همچنین، اکوسیستم و اقتصاد حداقل ۱۳ تا ۱۶ کشور منطقه از اثرات منفی این پدیده در امان نمانده‌اند. کاهش میزان بارندگی در این مناطق موجب کاهش تغذیه رودخانه‌ها و در نتیجه کاهش مقدار آب شیرین شده که این شرایط، سبب پایین آمدن سطح سفره آب‌های زیرزمینی و شدت گرفتن فرایند خشک‌سالی گردیده است. مدی و ابوسفینان (۲۰۱۳)، اثر تغییرات اقلیمی بر آب زیرزمینی در حوضه‌های در کشور الجزایر برای دوره‌های مختلف را بررسی کردند و پیش‌بینی نشان داد که تراز آب زیرزمینی در سال ۲۰۳۰ به میزان ۴/۴ تا ۶/۶ درصد و در سال ۲۰۵۰ به میزان ۱/۵ تا ۲۴/۹ درصد کاهش می‌یابد.. حسن و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های بارش CMIP5 تحت سناریوهای RCP4 و RCP8.5 بارش منطقه قراقوم هیمالیا را بررسی و بیان کردند که بر اساس پیش‌بینی مدل‌های CMIP5 فصل تابستان هیمالیا در قرن بیست و یکم مرطوب‌تر و با افزایش تدریجی بارش همراه است. ناصری و سالمی (۲۰۱۶)، به‌منظور تحلیل اثر تغییر اقلیم بر آبخوان دشت همدان در ایران، از مدل‌های مختلف اقلیمی تحت دو سناریوی A2 و B1 استفاده و تغییرات

افت وخیزها و روندهای بارش در اکثر نقاط کشور رادارند. زارع زاده مهریزی و همکاران (۱۳۹۷) تغییرات رژیم جریان رودخانه گاماسیاب تحت سناریوهای تغییر اقلیم را بررسی کردند. در پژوهش حاضر از خروجی‌های مدل CSIRO-Mk از سری مدل‌های CMIP5 و دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 برای آینده نزدیک (۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹ میلادی) و آینده دور (۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ میلادی) استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد رژیم جریان تحت سناریوهای مختلف در دوره آتی تغییر خواهد کرد. شدت این تغییرات در آینده نزدیک کم و هرچه به سمت پایان قرن حاضر پیش برویم بیشتر خواهد شد. تحت سناریو RCP2.6 ضمن افزایش آب در دسترس از شدت سیلاب‌ها و وقوع سیلاب‌های ناگهانی کاسته می‌شود. از طرفی تحت سناریو RCP8.5 کاهش آب در دسترس احتمال وقوع سیلاب‌های ناگهانی و خطرات ناشی از آن افزایش می‌یابد. احمدی فر و همکاران (۱۳۹۹)، به مطالعه اثر تغییر اقلیم بر نوسانات آبخوان دشت سراب در آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱ میلادی) تحت تأثیر مدل‌های جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) پرداختند. نتایج مشخص کرد، در بیشتر نقاط آبخوان، تحت هر دو سناریو سطح ایستابی نسبت به سال مبنا (۲۰۰۱) از ۰ تا ۱۰ متر کاهش خواهد یافت که این روند کاهشی، تحت سناریوی B1 بیشتر از سناریوی A2 است. مومنه و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی دشت چمچمال در دو دوره ۲۰ ساله آینده پرداختند. برای شبیه‌سازی آبخوان، از مدل آب زیرزمینی Groundwater Modeling System به‌کاررفته و برای ارزیابی و تصدیق عملکرد مدل به ترتیب برای دو دوره ۱۸ ماهه واسنجی و صحت سنجی انجام شد. نتایج نشان داد، سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 و دو سطح احتمالاتی ۹۰ و ۵۰ درصد برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بین ۹.۶- تا ۱۷.۹۲- متر افت خواهد داشت که نسبت به دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۶ به میزان ۱.۰۶- تا ۹.۳۸- متر تغییر تراز را نشان داد. عباس نوین پور و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تغییرات جریان آب سطحی و تراز آب زیرزمینی دشت روضه چای استان آذربایجان غربی پرداختند. بنابراین در این راستا از مدل بارش-رواناب IHACRES و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد.

اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۲)، با بررسی تأثیر گرمایش جهانی بر ناهنجاری دبی حوضه رود ارس به این نتیجه رسیدند که، ارتباط معکوس و قوی‌ای بین گرمایش جهانی با آبدهی حوضه ارس وجود دارد. این فرایند، بخصوص از سال ۱۹۹۴ به بعد آشکار است و با افزایش گرمایش جهانی آبدهی حوضه ارس، کاهش چشمگیری از خود نشان می‌دهد. تغییرات آبدهی حوضه ارس نشان از روند کاهنده‌ی آن طی بازه‌ی زمانی بلندمدت خود دارد که ارتباط آن با گرمایش جهانی دارای همبستگی معکوس برابر با ۰/۶۸- درصد با ضریب تعیین ۰/۴۶ است. شریفیان و حبیبی (۱۳۹۲)، با بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات منابع آب سطحی در بخشی از حوضه‌های استان گلستان به ای نتیجه رسیدند که، مقادیر دبی سالانه ایستگاه‌ها دارای روندی نزولی در دو دهه اخیر بوده است. همچنین بر اساس دیگر نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق مشخص گردید که دبی فصلی در فصول بهار، زمستان و پاییز، کاهش ولی دبی فصل تابستان با افزایش آبدهی همراه بوده است. ناصر زاده و طولابی نژاد (۱۳۹۴)، با بررسی ارتباط آماری گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و متان به‌عنوان عناصر گرمایش جهانی با مقادیر دبی رودخانه کشکان رود به این نتیجه رسیدند که گرمایش جهانی ارتباط معکوس و قوی با دبی رودخانه کشکان دارد. به‌طوری‌که ۵۵/۲ درصد از کاهش آبدهی سالانه حوضه کشکان رود ناشی از گرمایش جهانی بوده است. با استفاده از مدل رگرسیون نمایی پیش بینی شد که اگر روند گرمایش جهانی به همین روال ادامه یابد، میانگین دبی سالانه این رودخانه تا ۳۰ سال آینده، یعنی تا سال ۲۰۴۰ میلادی به زیر ۱۰ مترمکعب در ثانیه خواهد رسید. در تحقیقی دیگر معصوم پورسماکوش و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی باهدف ارزیابی دقت داده‌های بارش مجموع مدل‌های CMIP5 طی دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) و همچنین داده‌های پیش‌بینی‌شده برای آینده ایران (۲۰۵۰-۲۰۰۵) به انجام رساندند. بر اساس نتایج شاخص‌هایی که میزان توافق سری‌های زمانی و اختلافات مدل‌ها را ارزیابی می‌نمایند، می‌توان گفت که گرچه مدل‌های مورد استفاده در محاسبه مقدار بارش کشور با دقت مناسب، توانایی بالایی ندارند اما به‌خوبی دوره‌های زمانی بارش را برآورد و توانایی مناسبی در تشخیص

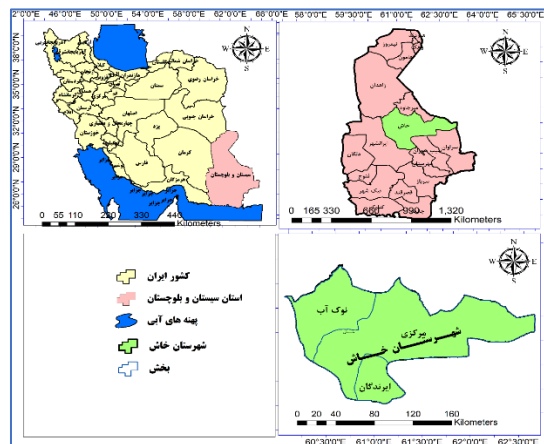


مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان خاش در دامنه جنوبی قله تفتان بین طول‌های ۶۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۶۲ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع گردیده است. این شهرستان از شمال به شهرستان زاهدان، غرب و جنوب غرب به شهرستان ایرانشهر از جنوب به شهرستان خاش و از شرق به کشور پاکستان محدود می‌گردد. وسعت شهر خاش حدود ۲۰۰۰ هکتار هست و شهر خاش در جلگه‌ای است که سه طرف آن کوه هست از طرف شرق به کوه دهنه، از مغرب به کوه پنج‌انگشت و در شمال آن کوه آتش‌فشان با ارتفاع ۴۱۰۰ متر و ۱۴۰۰ متر از سطح دریا بالاتر هست و شیب عمومی شهر شمال به جنوب و غرب به شرق است (شکل ۱).

نتایج نشان داد که در منطقه تغییرات دما تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی RCP4.5 بوده و بارش در ماه‌های قابل‌انتظار کاهش خواهد داشت. مدل بارش-رواناب در پیش‌بینی جریان رودخانه روضه چای در دوره‌ی پایه نسبت به دوره‌ی آتی بهتر جواب داد و ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۵ را نشان داد. در پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی با شبکه عصبی مصنوعی نیز مدل در دوره‌ی پایه عملکرد بهتری داشت. از آنجاکه تغییر اقلیم در بیشتر تحقیقات مذکور، سبب کاهش بارش و افزایش دما در دوره‌های آتی شده و باعث اثرگذاری منفی بر روی ذخایر آب زیرزمینی و سطحی مناطق مختلف شده است، در این پژوهش، به مطالعه و بررسی این اثرات برای پیش‌بینی آب‌های سطحی خاش پرداخته خواهد شد.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

پیش‌بینی و تغییرات اقلیمی بررسی شد. در نهایت داده‌ها نای هیدرومتری و اقلیمی همراه با داده‌های پیش‌بینی شده مقایسه شده تا ارتباط تغییرات آب‌های سطحی با تغییرات اقلیمی مشخص شود.

روند سالانه پارامترهای اقلیمی برآورد شده بارش و دما با آزمون ناپارامتریک من-کندال و شیب سن با استفاده از برنامه MAKESENS در صفحه گسترده اکسل بررسی گردید. در نهایت نتایج حاصل از بررسی آمارهای مختلف به صورت نمودار و جدول نمایش داده شد.

داده‌ها و روش‌شناسی

برای اجرای مراحل تحقیق در ابتدا داده‌های زمانی روزانه برای عنصرهای اقلیمی (بارش، دمای میانگین، دمای کمینه و دمای بیشینه) برای دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ برای بررسی هیدرو گرافی و ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ برای مدل‌سازی آینده در فایل Notepad مرتب‌شده و اطلاعات پیش‌بینی کننده بزرگ‌مقیاس NCEP با توجه به مختصات منطقه مورد مطالعه در شبکه مشبک جهانی در سایت CCSN تهیه خواهد شد. سپس با مدل sdsms داده‌ها برای آینده

برای اطمینان از دقت عملکرد مدل و مقایسه نتایج واسنجی و داده‌های پایه، روابط آماری RMSE, PBIAS و R^2 به کار خواهند رفت. RMSE نشان‌دهنده دقت در بسیاری از روش‌های آماری است. هر میزان این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بالای مدل است. PBIAS نشان‌دهنده میزان تمایل مدل در بیش برآورد (مقادیر مثبت) یا کم برآورد (مقادیر منفی) است و R^2 ارتباط داده‌های مشاهداتی و محاسباتی را بیان می‌کند. دامنه این پارامتر بین ۰ تا ۱ است. هر چه این مقدار به ۱ نزدیک باشد بیانگر ارتباط قوی بین دو گروه است (موریانی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با استفاده از شیب سنس روند داده‌ها بررسی گردید.

در تحقیق حاضر، به منظور تحلیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر دبی رودخانه سیانجه، از دودسته داده، داده‌های عناصر اقلیمی شامل: دما (حداکثر و حداقل) و بارش در مقیاس روزانه از ایستگاه خاش و مقادیر متناظر آن یعنی داده‌های مربوط به میزان دبی رودخانه سیانجه به صورت روزانه می‌باشند. داده‌های دبی رود در بازه زمانی ۲۷ ساله از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ در ایستگاه هیدرومتری لادیز از شرکت مادر تخصصی منابع آب ایران اخذ شد. همچنین آمار و اطلاعات مربوط به عناصر اقلیمی شامل دما (حداکثر و حداقل) و بارش به صورت روزانه از سازمان هواشناسی دریافت شد. (جدول ۱).

جدول (۲): مختصات ایستگاه هیدرومتری لادیز

| ایستگاه هیدرومتری | رودخانه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) | دوره آماری |
|-------------------|---------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| لادیز | سیانجه | ۶۱.۱۷ | ۲۷.۵۶ | ۱۱۵۶ | ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ |

برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، از مدل گردش عمومی CanESM2 که در گزارش پنجم IPCC آمده، تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. این مدل علاوه بر مدل‌های قبلی که بر اساس مدل‌های جفت شده اقیانوس جو و اندرکنش این دو و سامانه بزرگ مقیاس گردش عمومی جو عمل می‌کنند، دو مدل جفت شده دیگر از جمله مدل زمین-پوشش گیاهی و مدل اندرکنش قاره-اقیانوس و چرخه کربن را در خود جای داده است. بنابراین

تغییرات اقلیمی مستلزم وجود آمار درازمدت برای تحلیل و بررسی است و هر چه آمارهای به کار برده شده، سالیان بیشتری را در برگیرد، تحقیقات و بررسی‌های انجام شده بیشتر با حقیقت همخوانی خواهند داشت. طبق اعلام سازمان هواشناسی جهانی تعداد سال‌های آماری برای این نوع تحقیقات حداقل باید ۳۰ سال باشد (فرج زاده، ۱۳۹۱). بر همین مبنا در این پژوهش از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک خاش به منظور بررسی و تحلیل خشک‌سالی‌ها و اثر آن‌ها بر روی منابع آب‌های سطحی استفاده شد. بنابراین در این تحقیق، از دو سناریو استفاده خواهد شد. این سناریوها شامل RCP4.5 انتشار پایین گاز گلخانه‌ای و RCP8.5 هست (که واداشت تابشی در آن به مقدار 5.8 وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این شرایط میزان غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm خواهد رسید و همچنان روند افزایشی خواهد داشت) (یو و همکاران، ۲۰۱۶).

انتخاب بهترین عنصرهای پیش‌بینی کننده (غربالگری)

در این مرحله بهترین پیش‌بینی کننده‌ها که قوی‌ترین ارتباط بین پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی کننده را داشتند با انتخاب پیش‌بینی کننده‌های مختلف و بررسی مقدار همبستگی آن‌ها با عنصرهای موردنظر به صورت حذف مرحله و نمودار پراکنش آن‌ها، انتخاب خواهند شد. در ادامه

مدل‌های چرخش عمومی (GCM)

مدل‌های گردش عمومی (GCM) بهترین اطلاعات درباره پاسخ جو به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای را می‌توانند فراهم کنند. از آنجاکه خروجی این مدل‌ها دارای دقت مکانی و زمانی کافی برای مطالعات تأثیر تغییر اقلیم نیست لازم است، داده‌های خروجی مدل‌های چرخش عمومی کوچک مقیاس گردند؛ که در این پژوهش به ریا پیش‌بینی بارش منطقه از روش ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و



در حال حاضر کامل‌ترین مدل از مدل‌های آماری است.
(حجازی و همکاران، ۱۳۹۴). (جدول ۲).

جدول (۳) مشخصات مدل CanESM2

| نام مدل | قدرت تفکیک اتمسفری | قدرت تفکیک اقیانوسی | گروه مؤسس | دوره شبیه‌سازی تاریخی / آینده | سناریوهای شبیه‌سازی | مرجع |
|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| CanESM2 2111 | ۲.۸۱*۲.۸۱ | ۹۴*۱.۴۱ | CCCMA کانادا | ۱۸۵۰-۲۰۰۵ ۲۰۰۶-۲۱۰۰ | RCP ، RCP4.5 و 2.6 RCP8.5 | آرورا و همکاران ۲۰۱۱ |

نتایج و بحث

تحلیل همبستگی بارش و دبی سطح حوضه در دوره پایه

برای تحلیل همبستگی و رابطه بین دبی و بارش در دشت خاش، از تحلیل همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ (P_value=0.5) استفاده شده است. این تحلیل همبستگی که در جدول (۳) ارائه شده است، بیانگر آن است که در ماه‌های دوره سرد سال یک همبستگی بین بارش و دبی بالاتر از دوره گرم سال است. در ماه‌های اکتبر تا مارس ضریب همبستگی بین بارش و دبی این ماه‌ها طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، بیشتر از ۰/۲۵ بوده است که همه این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار بوده است. اما در ماه‌های گرم سال این میزان همبستگی افت

کرده است به طوری که از ماهی تا اوت میزان همبستگی به زیر ۲۰ درصد رسیده است که این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار نبوده‌اند. ضریب همبستگی در ماه‌های می و ژوئن به ۰/۱ رسیده است که گویای آن است در این ماه‌ها همبستگی معنی‌داری بین دبی و بارش وجود ندارد. اما در ماه سپتامبر تا دسامبر همبستگی بین بارش و دبی در دشت معنی‌دار و مستقیم بوده است. نکته قابل توجه دیگر این که همبستگی بین دبی و بارش در همه ماه‌ها مستقیم بوده است که گویای آن است رژیم هیدرولوژیک حوضه و به طور خاص رژیم هیدرولوژیک رودخانه سیانجه که بر اساس داده‌های ایستگاه هیدرومتری لادیر مورد بررسی قرار گرفت وابستگی مطلق به بارش دارد. این همبستگی در ماه‌های دوره سرد سال قابل توجه‌تر بوده و در ماه‌های فصل تابستان تا حد زیادی افت می‌کند.

جدول (۴). ماتریس همبستگی بین مقادیر دبی ماهانه و بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

| ماه | ضریب همبستگی | آماره معنی‌داری |
|---------|--------------|-----------------|
| ژانویه | ۰/۳۸۱ | ۰/۰۰ |
| فوریه | ۰/۲۸۱ | ۰/۰۲ |
| مارس | ۰/۲۷۱ | ۰/۰۲ |
| آوریل | ۰/۵۴۹ | ۰/۰۰ |
| می | ۰/۰۰۲ | ۰/۱۲ |
| ژوئن | ۰/۰۹ | ۰/۰۹۵ |
| ژوئیه | ۰/۱۶ | ۰/۰۸۵ |
| اوت | ۰/۱۶ | ۰/۰۸۵ |
| سپتامبر | ۰/۴ | ۰/۰۱ |
| اکتبر | ۰/۲۵ | ۰/۰۲ |
| نوامبر | ۰/۳۴۶ | ۰/۰۰ |
| دسامبر | ۰/۸۴۵ | ۰/۰۰ |

توسعه مدل رگرسیونی برآوردگر دبی بر اساس

بارش

آنالیز همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ نشان داد که در ماه‌های دوره سرد سال یک همبستگی معنی‌دار قابل توجهی بین دبی رودخانه سیانجاه و بارش این حوضه وجود دارد. اما در ماه‌های گرم سال این همبستگی تضعیف شده و در ژوئن، سپتامبر و اکتبر این همبستگی‌ها فاقد معنی‌داری در سطح اطمینان ۰/۹۵ بوده است. بر این اساس یک مدل رگرسیون خطی در سطح اطمینان ۰/۹۵

برای برآورد و تخمین دبی رودخانه سیانجاه بر اساس بارش سطح دشت خاش برای میانگین دبی ماه‌هایی که همبستگی معنی‌داری با بارش نشان دادند توسعه داده شد. همان‌طور که در جدول (۴) دیده می‌شود، شکل کلی مدل رگرسیون خطی توسعه داده شده بر دبی و بارش سطح حوضه (میانگین ماه‌هایی که رابطه بین دبی و بارش معنی‌دار بوده است و ماه‌هایی که ارتباط یا همبستگی بین دبی و بارش معنی‌دار نبوده است از مدل‌سازی حذف شده است)، به صورت رابطه (۱) است.

جدول (۵): مدل رگرسیون خطی برازش داده شده برای مدل کردن دبی رودخانه سیانجاه-داده های ایستگاه لادیز بر پایه دوره آماری

۲۰۲۰-۲۰۰۰

| | Coefficients | Standard Error | t Stat | P-value |
|--------------|--------------|----------------|--------|---------|
| Intercept | ۰/۰۶ | ۰/۰۱۹ | ۰/۲۴۲ | ۰/۰۰۴ |
| X Variable 1 | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۲ | ۲/۸۵۵ | ۰/۰۱ |

رابطه (۱). مدل رگرسیون برازش داده شده برآوردگر دبی بر اساس بارش

$$D = 0.06 + 0.005(R)$$

همان‌طور که در مدل فوق دیده می‌شود، ضریب بارش برابر ۰۰۰۵ بوده است و عرض از مبدأ مدل برآوردگر توسعه داده شده برابر ۰۰۰۶ بوده است.

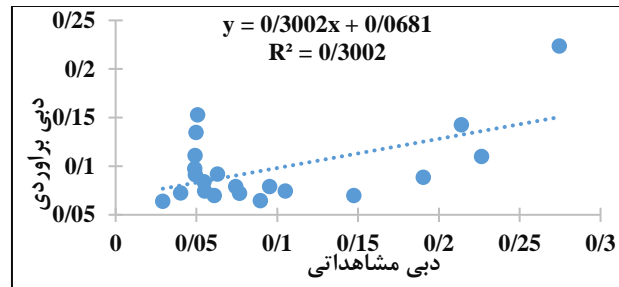
جدول ۶: مشخصات آماری و اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی برآوردگر دبی رودخانه سیانجاه-داده های ایستگاه هیدرومتری لادیز بر

پایه دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۱۰

| Regression Statistics | |
|-----------------------|------|
| Multiple R | ۰/۵۵ |
| R Square | ۰/۳ |
| Adjusted R Square | ۰/۲۶ |
| Standard Error | ۰/۰۶ |
| Observations | ۲۱ |

می‌شود، ضریب همبستگی بین دبی مدل‌سازی شده با دبی مشاهداتی برابر ۰/۵۵ و ضریب تعیین آن برابر ۰۰۳۰ درصد است.

در پراکنش نگار شکل (۲) اقدام به مقایسه دبی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری لادیز طی دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۱۰ با مقادیر دبی مدل‌سازی شده مدل رگرسیون فوق (رابطه ۴-۱)، شده است. همان‌طور که در این پراکنش نگار دیده



شکل (۲). مقایسه دبی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری لادیز با دبی مدل سازی شده بر اساس مدل رگرسیون برآوردگر رابطه ۱-۴

بازیابی اثر تغییر اقلیم

در این بخش اقدام به بازیابی اثر تغییر اقلیم در دو متغیر اقلیمی میانگین دمای ماهانه و مجموع بارش ماهانه، در دشت خاش می‌گردد. میانگین دما و مجموع بارش بر اساس داده‌های روزانه دوره پایه ۱۹۹۰-۲۰۱۹، با استفاده از مدل آماری SDSM برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، شبیه‌سازی گردید. این شبیه‌سازی تحت دو سناریوی گزارش پنجم IPCC یعنی سناریوهای وضع موجود RCP2.5 و سناریوی بدبینانه RCP8.5 مشخصات آماری این دوره شبیه‌سازی شده در ادامه مورد بررسی قرار گرفت.

الف) بازیابی اثر تغییر اقلیم در میانگین دمای ماهانه

حوضه خاش

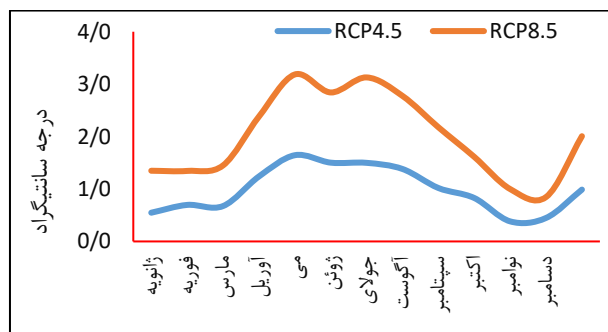
در جدول (۶) مقادیر میانگین دمای ماهانه مشاهداتی دوره پایه ایستگاه سینوپتیک خاش، ارائه شده است. در کنار این مقادیر مشاهداتی ماهانه، مقادیر شبیه‌سازی شده میانگین دمای ماهانه تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نیز برای دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ با استفاده از مدل ریزمقیاس نمای آماری SDSM ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، در هر دو سناریو مقادیر میانگین دمای ماهانه افزایش داشته است. این افزایش در مقیاس سالانه، به این صورت است که میانگین دمای سالانه در سطح حوضه خاش، در دوره پایه برابر ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است که در خط سیر انتشار RCP4.5 در دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ به ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد و در خط سیر انتشار RCP8.5 به ۲۱/۴ درجه سانتی‌گراد رسیده است.

جدول ۶. مقایسه میانگین دمای ماهانه دوره پایه (میانگین دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۹) و دوره تغییر اقلیم مدل گردش عمومی HADCM3 ریزمقیاس نمایی شده با مدل آماری SDSM تحت دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه (دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰)

| ماه | مقادیر مشاهداتی | RCP4.5 | RCP8.5 |
|---------|-----------------|--------|--------|
| ژانویه | ۸/۸ | ۹/۴ | ۹/۶ |
| فوریه | ۱۱/۳ | ۱۲ | ۱۲/۴ |
| مارس | ۱۵/۶ | ۱۶/۲ | ۱۶/۳ |
| آوریل | ۲۱/۱ | ۲۲/۳ | ۲۲/۲ |
| می | ۲۶/۲ | ۲۷/۹ | ۲۷/۸ |
| ژوئن | ۲۹/۶ | ۳۱/۱ | ۳۰/۹ |
| جولای | ۳۰/۵ | ۳۲ | ۳۲/۳ |
| اگوست | ۲۸/۸ | ۳۰/۲ | ۳۰/۴ |
| سپتامبر | ۲۵/۴ | ۲۶/۳ | ۲۶/۵ |
| اکتبر | ۲۰/۶ | ۲۱/۴ | ۲۱/۶ |
| نوامبر | ۱۴/۸ | ۱۵/۲ | ۱۵/۴ |
| دسامبر | ۱۰/۶ | ۱۱/۱ | ۱۱/۴ |
| سالانه | ۲۰/۳ | ۲۱/۲ | ۲۱/۴ |

بوده است. در ماه‌های دوره گرم سال، میزان افزایش دما در هر دو خط سیر انتشار در دوره گرم سال بالاتر از ۱ درجه سانتی‌گراد بوده است، در حالی که در دوره سرد سال این میزان افزایش دما کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد بوده است.

همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، در همه ماه‌ها در هر دو خط سیر انتشار، مقادیر دمای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، بالاتر از میانگین دمای دوره پایه بوده است. این میزان اختلاف افزایشی دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰، در خط سیر انتشار RCP8.5 بالاتر از خط سیر انتشار RCP4.5



شکل (۳). مقایسه میانگین دمای دوره پایه (میانگین دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۹) و دوره تغییر اقلیم مدل گردش عمومی HADCM3 ریزمقیاس نمایی شده با مدل آماری SDSM تحت دو خط سیر انتشار RCP4.5 و RCP8.5 (دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰)

افزایش داشته است. متوسط مجموع سالانه بارش در دوره مشاهداتی برابر ۱۴۹ میلی‌متر بوده است در حالی که در خط سیر انتشار RCP4.5 این میزان بارش سالانه به ۲۰۳ میلی‌متر رسیده است که یک افزایش ۳۳ درصدی نسبت به دوره پایه را نشان داده است. در خط سیر انتشار بدبینانه RCP8.5 نیز متوسط بارش سالانه در سطح منطقه به ۲۱۱ میلی‌متر رسیده است که یک افزایش ۴۰ درصدی را نسبت به دوره پایه داشته است.

(ب) بازیابی اثر تغییر اقلیم در مجموع ماهانه بارش حوضه خاش

در جدول (۷) مقادیر مشاهداتی میانگین بارش ماهانه ایستگاه خاش طی دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۹) ارائه شده است. در کنار این مقادیر مشاهداتی ماهانه، مقادیر شبیه‌سازی شده بارش تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نیز ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، در هر دو سناریو مقادیر بارش ماهانه

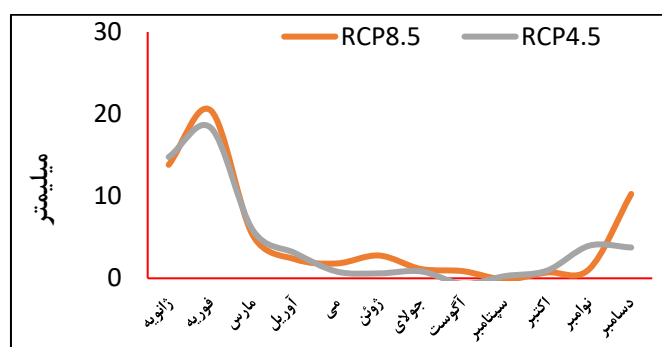


جدول (۷). مقایسه مجموع بارش ماهانه دوره پایه (میانگین دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۹) و دوره تغییر اقلیم مدل گردش عمومی HADCM3 ریزمقیاس نمایی شده با مدل آماری SDSM تحت دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه (دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰)

| ماه | مقادیر مشاهداتی | RCP4.5 | RCP8.5 |
|---------|-----------------|--------|--------|
| ژانویه | ۳۷/۷ | ۴۹/۴ | ۴۸/۵ |
| فوریه | ۳۴/۴ | ۵۳/۳ | ۵۵/۳۸ |
| مارس | ۳۱/۵ | ۳۸/۳ | ۳۷/۷ |
| آوریل | ۷/۶ | ۱۰/۳۷ | ۹/۶ |
| می | ۲/۷ | ۴/۳۶ | ۵/۳ |
| ژوئن | ۳ | ۳/۵۳ | ۵/۷ |
| جولای | ۱/۶ | ۲/۶ | ۲/۹ |
| آگوست | ۳/۲ | ۲/۴۵ | ۳/۹۹ |
| سپتامبر | ۰/۷ | ۰/۹ | ۰/۶ |
| اکتبر | ۱/۷ | ۳/۴ | ۳/۲ |
| نوامبر | ۵/۸ | ۱۰ | ۷/۲ |
| دسامبر | ۱۹ | ۲۴/۳ | ۳۰/۹ |
| سالانه | ۱۴۹ | ۲۰۳ | ۲۱۰/۸ |

این دو ماه میزان بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب ۱۵.۴ و ۱۴.۴ میلی‌متر افزایش داشته است (شکل ۴)

بیشترین میزان افزایش بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، نسبت به دوره پایه در ماه‌های ژانویه و فوریه بوده است. در



شکل (۴). مقایسه مجموع بارش ماهانه دوره پایه (میانگین دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۹) و دوره تغییر اقلیم مدل گردش عمومی HADCM3 ریزمقیاس نمایی شده با مدل آماری SDSM تحت دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه (دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰)

همبستگی این داده‌ها با داده‌های دبی دوره پایه ایستگاه هیدرومتری لادیز روی رودخانه سیانجه می‌گردد. در جدول (۸) ماتریس همبستگی بین دبی دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۹) ایستگاه مذکور و بارش شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ارائه شده است. برای تحلیل همبستگی و

تحلیل همبستگی بارش و دبی سطح حوضه در دوره تغییر اقلیم

در این بخش با استفاده از داده‌های بارش شبیه‌سازی شده مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM تحت دو خط سیر انتشار RCP4.5 و RCP8.5، اقدام به تحلیل مجدد

ماه‌های می و ژوئن به ۰/۱ رسیده است که گویای آن است در این ماه‌ها همبستگی معنی‌داری بین دبی و بارش وجود ندارد. اما در ماه سپتامبر تا دسامبر همبستگی بین بارش و دبی در دشت معنی‌دار و مستقیم بوده است. نکته قابل توجه دیگر این‌که همبستگی بین دبی و بارش در همه ماه‌ها مستقیم بوده است که گویای آن است رژیم هیدرولوژیک حوضه و به‌طور خاص رژیم هیدرولوژیک رودخانه سیانجه که بر اساس داده‌های ایستگاه هیدرومتری لادیر مورد بررسی قرار گرفت وابستگی مطلق به بارش دارد. این همبستگی در ماه‌های دوره سرد سال قابل توجه‌تر بوده و در ماه‌های فصل تابستان تا حد زیادی افت می‌کند.

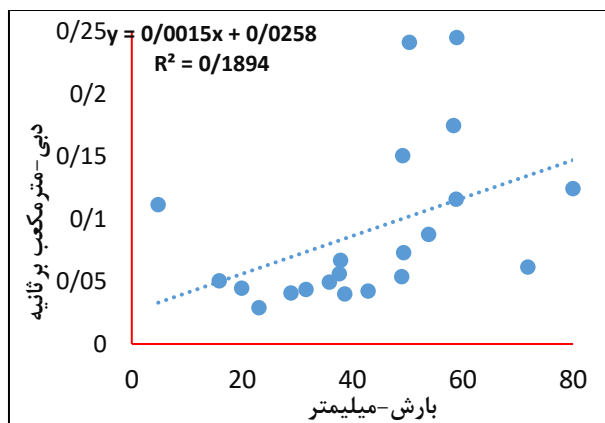
رابطه بین دبی و بارش در دشت خاش، از تحلیل همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value=0.5$) استفاده شده است. این تحلیل همبستگی بیانگر آن است که در ماه‌های دوره سرد سال یک همبستگی بین بارش و دبی بالاتر از دوره گرم سال است. در ماه‌های اکتبر تا مارس ضریب همبستگی بین بارش و دبی این ماه‌ها طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، بیشتر از ۰/۲۵ بوده است که همه این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار بوده است. اما در ماه‌های گرم سال این میزان همبستگی افت کرده است به‌طوری‌که از ماه می تا اوت میزان همبستگی به زیر ۲۰ درصد رسیده است که این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار نبوده‌اند. ضریب همبستگی در

جدول (۸). ماتریس همبستگی بین مقادیر دبی ماهانه و بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰

| ماه | RCP4.5 | RCP8.5 |
|---------|--------|--------|
| ژانویه | ۰/۴۴ | ۰/۶۳ |
| فوریه | ۰/۰۶ | ۰/۱۴ |
| مارس | -۰/۱۷ | ۰/۳۶ |
| آوریل | -۰/۱۸ | ۰/۱۴ |
| می | ۰/۱۷ | -۰/۰۴ |
| ژوئن | -۰/۰۴ | ۰/۳۸ |
| ژوئیه | -۰/۱۹ | ۰/۲۷ |
| اوت | -۰/۱۲ | -۰/۰۳ |
| سپتامبر | ۰/۴۳ | ۰/۷۱ |
| اکتبر | ۰/۰۶ | ۰/۳۵ |
| نوامبر | ۰/۵ | ۰/۰۴ |
| دسامبر | ۰/۳۱ | ۰/۲۸ |

تعیین بین بارش و دبی در سطح حوضه خاش برابر ۰/۱۹ بوده است.

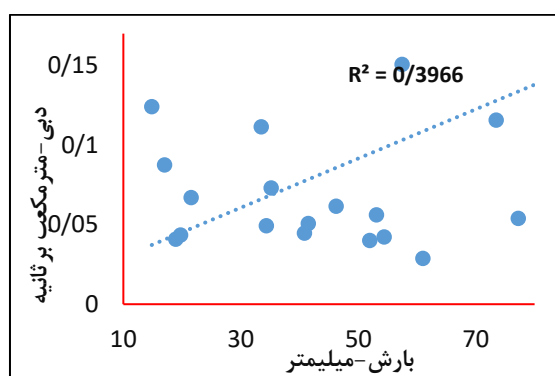
همان‌طور که در پراکنش نگار شکل (۵) دیده می‌شود، ارتباط خطی مستقیمی بین دبی و بارش وجود دارد. همان‌طور که در این پراکنش نگار دیده می‌شود، ضریب



شکل (۵). ارتباط مستقیم بین دبی و بارش شبیه‌سازی شده خط سیر انتشار RCP4.5 برای دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۰

ضریب تعیین ۰/۳۹ توانسته است ۰/۳۹ از تغییرات دبی سطح حوضه را تبیین کند. شکل (۶).

در خط سیر انتشار RCP8.5 نیز ارتباط مستقیمی بین دبی و بارش شبیه‌سازی شده دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۰ دیده شد. در این خط سیر انتشار، بارش شبیه‌سازی شده، با



شکل (۶). ارتباط مستقیم بین دبی و بارش شبیه‌سازی شده خط سیر انتشار RCP8.5 برای دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۰

اطمینان ۰/۹۵ بوده است. بر این اساس همان مدل رگرسیون خطی که بین بارش و دبی دوره پایه حوضه خاش، برازش داده شده بود، یکبار دیگر برای بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰، و دبی دوره پایه ایستگاه هیدرومتری سیانجاه، برازش داده شد. در جدول (۹) مدل برازش داده شده بین دبی و بارش شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، خط سیر انتشار RCP4.5 ارائه شده است، و شکل رابطه این مدل به صورت رابطه خطی (۲) ارائه شده است.

اجرای مجدد رگرسیون برازش داده شده بر اساس داده‌های بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰

آنالیز همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ نشان داد که بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰، در ماه‌های دوره سرد سال یک همبستگی معنی‌دار قابل توجهی با دبی رودخانه سیانجاه حوضه دارد. اما در ماه‌های گرم سال این همبستگی تضعیف شده و در ژوئن، سپتامبر و اکتبر این همبستگی‌ها فاقد معنی‌داری در سطح

جدول (۹). مدل رگرسیون خطی برازش داده شده برای مدل کردن دبی رودخانه سیانجاه-داده‌های ایستگاه لادیز بر اساس بارش شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ خط سیر انتشار RCP4.5

| | Coefficients | Standard Error | t Stat | P-value |
|--------------|--------------|----------------|--------|---------|
| Intercept | ۰/۰۲۵۸ | ۰/۰۳۳ | ۰/۷۷ | ۰/۴۵ |
| X Variable 1 | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۰۱ | ۲/۱۱ | ۰/۰۵ |

اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی برآوردگر دبی رودخانه سیانجه-براساس بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰، تحت خط سیر انتشار RCP4.5، ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۱۰) دیده می‌شود، مدل برآزش داده شده، در حالتی که ورودی متغیر مستقل مدل بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ باشد، می‌تواند ۱۹ درصد از واریانس دبی ایستگاه هیدرومتری تبیین کند.

رابطه (۲). مدل رگرسیون برازش داده شده برآوردگر دبی بر اساس بارش

$$D = 0.025 + 0.0015(R)$$

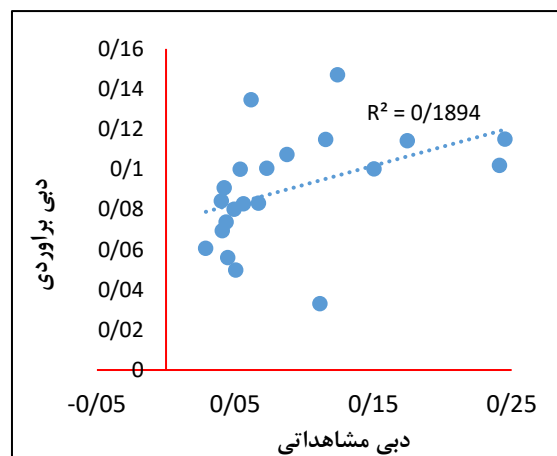
همان‌طور که در مدل (۲) دیده می‌شود، ضریب بارش شبیه‌سازی شده خط سیر انتشار RCP4.5 برابر ۰/۰۰۱۵ بوده است و عرض از مبدأ مدل برآوردگر توسعه داده شده برابر ۰/۰۲۵ بوده است. در جدول (۱۰) مشخصات آماری و

جدول (۱۰). مشخصات آماری و اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی برآوردگر دبی رودخانه سیانجه-داده های ایستگاه هیدرومتری لادیز بر پایه دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۰ تحت سناریوی انتشار RCP4.5

| Regression Statistics | |
|-----------------------|------|
| Multiple R | ۰/۴۴ |
| R Square | ۰/۱۹ |
| Adjusted R Square | ۰/۱۵ |
| Standard Error | ۰/۰۶ |
| Observations | ۲۱ |

۴۴ درصد با دبی مشاهداتی دوره پایه شباهت یا همبستگی مستقیم داشته باشد

همان‌طور که در پراکنش نگار شکل (۷) دیده می‌شود، دبی شبیه‌سازی شده در خط سیر انتشار RCP4.5، توانسته است



شکل (۷). پراکنش نگار ارتباط بین دبی مشاهداتی دوره پایه با دبی شبیه‌سازی شده از مدل رگرسیون برازش مجدد با استفاده از داده‌های بارش دوره تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۴۰) خط سیر انتشار RCP4.5



انتشار RCP8.5، شکل مدل به دست آمده به صورت جدول (۱۱) درآمده است.

اما با اجرای مجدد مدل رگرسیونی برازش داده شده بین دبی و بارش شبیه سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، خط سیر

جدول (۱۱). مدل رگرسیون خطی برازش داده شده برای مدل کردن دبی رودخانه سیانجه-داده های ایستگاه لادیز بر اساس بارش

شبیه سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ خط سیر انتشار RCP8.5

| | Coefficients | Standard Error | t Stat | P-value |
|--------------|--------------|----------------|--------|---------|
| Intercept | ۰/۰۱۴۳ | ۰/۰۲ | ۰/۵۹ | ۰/۵۶ |
| X Variable 1 | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۰ | ۳/۵۳ | ۰/۰۰ |

رابطه (۳). مدل رگرسیون برازش داده شده برآوردگر دبی بر اساس بارش خط سیر انتشار RCP8.5

$$D = 0.0143 + 0.0015(R)$$

رودخانه سیانجه-بر اساس بارش شبیه سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰، تحت خط سیر انتشار RCP8.5، ارائه شده است. همان طور که در این جدول دیده می شود، مدل برازش داده شده، در حالتی که ورودی متغیر مستقل مدل بارش شبیه سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ باشد، می تواند ۴۰ درصد از واریانس دبی ایستگاه هیدرومتری تبیین کند.

همان طور که در مدل (۳) دیده می شود، ضریب بارش برابر ۰/۰۰۱۵ بوده است و عرض از مبدأ مدل برآوردگر توسعه داده شده برابر ۰/۰۱۴۳ بوده است. با توجه به مدل (۳)، ضریب بارش شبیه سازی شده خط سیر انتشار RCP4.5 برابر ۰/۰۰۱۵ بوده است و عرض از مبدأ مدل برآوردگر توسعه داده شده برابر ۰/۰۲۵ بوده است. در جدول (۱۲)، مشخصات آماری و اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی برآوردگر دبی

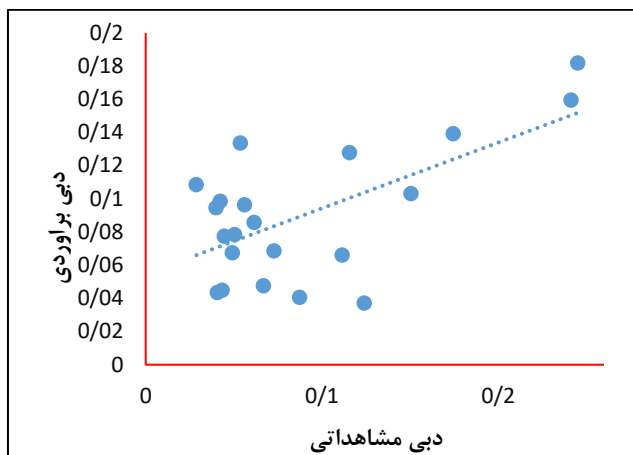
جدول (۱۲). مشخصات آماری و اعتبارسنجی مدل رگرسیون خطی برآوردگر دبی رودخانه سیانجه-داده های ایستگاه هیدرومتری لادیز

بر پایه دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۰ تحت سناریوی انتشار RCP8.5

| Regression Statistics | |
|-----------------------|------|
| Multiple R | ۰/۶۳ |
| R Square | ۰/۴ |
| Adjusted R Square | ۰/۳۶ |
| Standard Error | ۰/۰۵ |
| Observations | ۲۱ |

۶۳ درصد با دبی مشاهداتی دوره پایه شباهت یا همبستگی مستقیم داشته باشد.

همان طور که در پراکنش نگار شکل (۸) دیده می شود، دبی شبیه سازی شده در خط سیر انتشار RCP8.5، توانسته است



شکل (۸). پراکنش نگار ارتباط بین دبی مشاهداتی دوره پایه با دبی شبیه‌سازی شده از مدل رگرسیون برازش مجدد با استفاده از داده‌های بارش دوره تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۴۰) خط سیر انتشار RCP8.5

این میانگین در دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ در خط سیر انتشار RCP4.5، برابر 0.091 مترمکعب بر ثانیه بوده است و در خط سیر انتشار RCP8.5 برابر ۰/۰۹۴ مترمکعب بر ثانیه بوده است. بر این اساس در خط سیر انتشار ۸.۵ میزان آبدهی آب سطحی رودخانه سیانجه حدود ۰/۰۰۴ مترمکعب در ثانیه نسبت به دوره پایه کاهش داشته است. این کاهش در خط سیر انتشار RCP4.5 بالاتر بوده و برابر ۰/۰۲ مترمکعب در ثانیه بوده است.

مقایسه دبی مشاهداتی حوضه خاش با دبی برآوردی دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰

در جدول (۱۳)، مشخصات آماری دبی رودخانه سیانجه سطح دشت خاش، بر اساس ایستگاه هیدرومتری لادیز، ارائه شده است. همان‌طور که در جدول زیر مشاهده می‌شود، میانگین دبی دوره مشاهداتی رودخانه سیانجه بر اساس دبی ایستگاه هیدرومتری لادیز طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، برابر ۰/۰۹ مترمکعب در ثانیه بوده است درحالی‌که

جدول (۱۳). مقادیر آبدهی رودخانه سیانجه بر اساس ایستگاه هیدرومتری لادیز

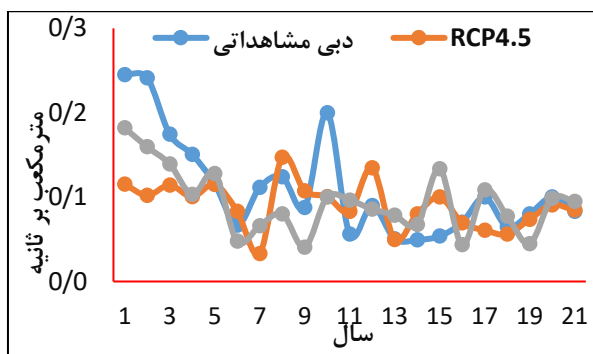
| سال | دبی مشاهداتی | RCP4.5 | RCP8.5 |
|-------------------------|--------------|--------|--------|
| میانگین | ۰/۱۱ | ۰/۰۹۱ | ۰/۰۹۴ |
| انحراف معیار | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۳۷ |
| ضریب تغییرات | ۰/۵۲۸ | ۰/۳۰۲ | ۰/۳۹۸ |
| تغییر نسبت به دوره پایه | * | ۰/۰۲ | ۰/۰۱۶ |

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، به نوسان سالانه در دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی شده دیده می‌شود، اما به‌طور کلی در غالب سال‌ها، دبی شبیه‌سازی شده تحت دو

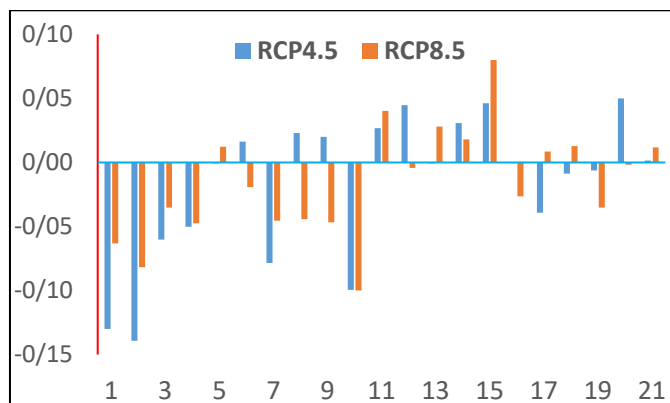
در نمودار روند نگار شکل (۹) روند دبی مشاهداتی طی یک دوره ۲۰ ساله یعنی دوره پایه ۲۰۰۰-۲۰۲۰ با دبی مدل‌سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، (به دلیل تناسب ۲۰ ساله) تحت دو خط سیر انتشار ۴.۵ و ۸.۵ ارائه شده است.



خط سیر مذکور پایین‌تر از دبی مشاهداتی بوده است.
شکل (۱۰).



شکل (۹). روند نگار ارتباط بین دبی مشاهداتی دوره پایه با دبی شبیه‌سازی شده از مدل رگرسیون برازش مجدد با استفاده از داده‌های بارش دوره تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۴۰) خط سیر انتشار RCP4.5 و RCP8.5



شکل (۱۰). مقادیر اختلاف بین دبی مشاهداتی دوره پایه با دبی شبیه‌سازی شده از مدل رگرسیون برازش مجدد با استفاده از داده‌های بارش دوره تغییر اقلیم (۲۰۲۰-۲۰۴۰) خط سیر انتشار RCP4.5 و RCP8.5

به زیر ۲۰ درصد رسیده است که این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار نبوده‌اند.

بر این اساس یک مدل رگرسیون خطی در سطح اطمینان ۰/۹۵ برای برآورد و تخمین دبی رودخانه سیانجه بر اساس بارش سطح دشت خاش برای میانگین دبی ماه‌هایی که همبستگی معنی‌داری با بارش نشان دادند توسعه داده شد. نتایج نشان داد در مدل رگرسیون خطی توسعه داده شده بر دبی و بارش سطح حوضه، ضریب بارش برابر ۰.۰۰۵ بوده است و عرض از مبدأ مدل برآوردگر توسعه داده شده برابر ۰.۰۰۶ بوده است. در ادامه اقدام به مقایسه دبی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری لادیز طی دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۲۰ با مقادیر دبی مدل‌سازی شده مدل رگرسیونی شده. نتایج نشان داد، ضریب همبستگی بین دبی مدل‌سازی شده با

نتیجه‌گیری

این تحقیق باهدف بررسی ارتباط تغییر اقلیم بر آب‌های سطحی دشت خاش به انجام رسید. برای تحلیل همبستگی و رابطه بین دبی و بارش در دشت خاش، از تحلیل همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($P_value=0.5$) استفاده شد. نتایج بیانگر آن است که در ماه‌های دوره سرد سال یک همبستگی بین بارش و دبی بالاتر از دوره گرم سال است. در ماه‌های اکتبر تا مارس ضریب همبستگی بین بارش و دبی این ماه‌ها طی دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۰، بیشتر از ۰/۲۵ بوده است که همه این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار بوده است. اما در ماه‌های گرم سال این میزان همبستگی افت کرده است به طوری که از ماه می تا اوت میزان همبستگی

اما در ماه‌های گرم سال این میزان همبستگی افت کرده است به طوری که از ماه می تا اوت میزان همبستگی به حدود ۱۹ درصد رسیده است که این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار نبوده‌اند.

ضریب همبستگی در ماه‌های می و ژوئن به ۰/۱ رسیده است که گویای آن است در این ماه‌ها همبستگی معنی‌داری بین دبی و بارش وجود ندارد. اما در ماه سپتامبر تا دسامبر همبستگی بین بارش و دبی در دشت معنی‌دار و مستقیم بوده است. نکته قابل توجه دیگر این که همبستگی بین دبی و بارش در همه ماه‌ها مستقیم بوده است که گویای آن است رژیم هیدرولوژیک حوضه و به طور خاص رژیم هیدرولوژیک رودخانه سیانجه که بر اساس داده‌های ایستگاه هیدرومتری لادیر مورد بررسی قرار گرفت وابستگی مطلق به بارش دارد. این همبستگی در ماه‌های دوره سرد سال قابل توجه‌تر بوده و در ماه‌های فصل تابستان تا حد زیادی افت می‌کند. در مرحله بعد اقدام به اجرای مجدد رگرسیون برازش داده شده بر اساس داده‌های بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ شد.

نتایج برازش مدل رگرسیون خطی برای بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰، و دبی دوره پایه ایستگاه هیدرومتری سیانجه، نشان داد که ضریب بارش شبیه‌سازی شده خط سیر انتشار RCP4.5 برابر ۰.۰۰۱۵ بوده است و عرض از مبدأ مدل برآوردگر توسعه داده شده برابر ۰.۰۲۵ بوده است. مدل برازش داده شده، در حالتی که ورودی متغیر مستقل مدل بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ باشد، می‌تواند ۱۹ درصد از واریانس دبی ایستگاه هیدرومتری تبیین کند. ضریب بارش شبیه‌سازی شده خط سیر انتشار RCP4.5 برابر ۰.۰۰۱۵ بوده است و عرض از مبدأ مدل برآوردگر توسعه داده شده برابر ۰.۰۲۵ بوده است. مدل برازش داده شده، در حالتی که ورودی متغیر مستقل مدل بارش شبیه‌سازی شده دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ باشد، می‌تواند ۴۰ درصد از واریانس دبی ایستگاه هیدرومتری تبیین کند.

دبی مشاهداتی برابر ۰/۵۵ و ضریب تعیین آن برابر ۰.۳۰ درصد است. در بخش بعدی اقدام به بازیابی اثر تغییر اقلیم در دو متغیر اقلیمی میانگین دمای ماهانه و مجموع بارش ماهانه، در دشت خاش شد. میانگین دما و مجموع بارش بر اساس داده‌های روزانه دوره پایه ۱۹۹۰-۲۰۲۰، با استفاده از مدل آماری SDSM برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰، شبیه‌سازی شد. این شبیه‌سازی تحت دو سناریوی گزارش پنجم IPCC یعنی سناریوهای وضع موجود RCP2.5 و سناریوی بدبینانه RCP8.5 مشخصات آماری این دوره شبیه‌سازی شده است. در هر دو سناریو مقادیر میانگین دمای ماهانه افزایش داشته است. این افزایش در مقیاس سالانه، به این صورت است که میانگین دمای سالانه در سطح حوضه خاش، در دوره پایه برابر ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است که در خط سیر انتشار RCP4.5 در دوره تغییر اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۰ به ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد و در خط سیر انتشار RCP8.5 به ۲۱/۴ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در هر دو سناریو مقادیر بارش ماهانه افزایش داشته است. متوسط مجموع سالانه بارش در دوره مشاهداتی برابر ۱۵۰/۴۰ میلی‌متر بوده است در حالی که در خط سیر انتشار RCP4.5 این میزان بارش سالانه به ۲۰۳ میلی‌متر رسیده است که یک افزایش ۳۳ درصدی نسبت به دوره پایه را نشان داده است. در خط سیر انتشار بدبینانه RCP8.5 نیز متوسط بارش سالانه در سطح منطقه به ۲۱۱ میلی‌متر رسیده است که یک افزایش ۴۰ درصدی را نسبت به دوره پایه داشته است.

نتایج تحلیل همبستگی داده‌های بارش شبیه‌سازی شده مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM تحت دو خط سیر انتشار RCP4.5 و RCP8.5، با داده‌های دبی دوره پایه ایستگاه هیدرومتری لادیز بیانگر آن است که در ماه‌های دوره سرد سال یک همبستگی بین بارش و دبی بالاتر از دوره گرم سال است. در ماه‌های اکتبر تا مارس ضریب همبستگی بین بارش و دبی این ماه‌ها طی دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۰، حدود ۰/۲۶ بوده است که همه این همبستگی‌ها در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار بوده است.



منابع

- احمدی فر، رقیه؛ موسوی، مرتضی و رحیم زادگان، مجید، ۱۳۹۹، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سراب). دانش آب و خاک، دوره ۳۰، شماره ۱، صص ۱۶۶-۱۵۳.
- اسفندیاری درآباد، فریبا و همکاران. (۱۳۹۲)، آشکار سازی آماری تأثیر پدیده گرمایش جهانی بر ناهنجاری های دبی رودخانه ارس، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، بهار ۱۳۹۲، صص ۴۳-۶۰.
- انصاری، مریم (۱۳۹۰)، بررسی اثر نوسانات اقلیمی بر تغییرات دبی رودخانه کاجو و اثرات آن بر کشاورزی منطقه، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی غلامرضا نوری، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۰.
- بایزیدی، شوبو؛ هادی مورکی علی آباد و عبدالرحیم صلوی تبار، (۱۳۹۱)، بررسی آشکار سازی تغییر اقلیم بر حوضه دریاچه ارومیه، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حجازی زاده، زهرا؛ سید محمد حسینی و علیرضا کربلایی درئی، (۱۳۹۴)، شبیه سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با سناریوهای مدل گردش عمومی جو (hadcm3)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۵، صص ۱-۲۴.
- زارع زاده مهریزی شهاب الدین، خورانی اسداله، بذرافشان جواد، بذرافشان ام البنین. (۱۳۹۷). تغییرات رژیم جریان رودخانه گاماسیاب تحت سناریوهای تغییر اقلیم. محیط شناسی. ۴۴(۴): ۵۸۷-۶۰۲.
- شریفیان، ح؛ حبیبی، ع. (۱۳۹۲)، بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات منابع آب سطحی در بخشی از حوزه استان گلستان، اولین همایش ملی چالش های منابع آب و کشاورزی، انجمن آبیاری و زهکشی ایران، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، صص ۱-۱۰.
- عباس نوین پور، اسفندیار؛ صادقی اقدام، فریبا و کاکي، مهري، ۱۴۰۰، اثر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت روضه چای. دوفصلنامه علمی یافته های نوین زمین شناسی کاربردی. دوره ۱۵، شماره ۲۹، صص ۱۵-۲۷.
- عزیزی قاسم. و روشنی، محمد. (۱۳۸۷). " مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من- کندال "، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۲۸-۱۳.
- فرج زاده اصل، منوچهر، (۱۳۹۱)، تکنیک های اقلیم شناسی، نشر سمت، چاپ پنجم، تهران، بهار ۱۳۹۱.
- فیضی و؛ فرج زاده م؛ نوروزی ر. (۱۳۸۹). " مطالعه تغییر اقلیم در استان سیستان و بلوچستان به روش من- کندال "، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG 2010).
- محمدی، بهرام و نائینی، علی، ۱۳۹۷. اثرات گرمایش زمین بر بارش های حدی متناظر با سیلاب های با دوره بازگشت های مختلف (مورد مطالعه: حوزه آبریز جاجرود). علوم زمین، سال 29، شماره 115، 241-246.
- محمدی، حسین، تقوی، فرحناز، ۱۳۸۴، روند شاخص های حدی دما و بارش در تهرانف پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۱۵۱-۱۷۲.
- مدرسی ف.، عراقی نژاد ش.، ابراهیمی ک.، خلقی م.، (۱۳۸۹). " بررسی منطقه ای پدیده اقلیم با استفاده از آزمون های آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود- قره سو) "، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، صفحات ۴۸۹-۴۷۶.
- معصوم پورسماکوش، جعفر، میری، مرتضی، پورکمر، فاطمه. (۱۳۹۶). ارزیابی داده های مدل های اقلیمی CMIP5 در مقابل داده های مشاهده ای ایران. مجله ژئوفیزیک / ایران، ۱۱(۴)، ۴۰-۵۳.
- مومنه، صادق، آذری، آرش & اقبال زاده، افشین. (۱۳۹۹). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی در دوره های آتی، مطالعه موردی: دشت چمچمال. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۴): ۹۱۳-۹۲۸.
- ناصرزاده، محمدحسین؛ طولابی نژاد، میثم. (۱۳۹۴)، نقش گازهای گلخانه ای در نوسانات دبی کشکان رود، فصلنامه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲، صص ۱۱۷-۱۳۵.



- Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M. and Toros, H., 2016. Uncertainty analysis of the future changes in maximum daily temperatures over Iran using GIS . Geographical Data (SEPEHR). 25(97), 29-43 P.
- Burn, D.H., 1994. Hydrologic effects of climate change in the west central Canada . Journal of Hydrology 160, 53 – 70.
- Chang, L.H., Hunsaker, C.T., and Draves, J.D., 1992 . Recent research on effects of climate change on water resources. Water Resource Bulletin 28 (2), 273-286.
- Eckhardt, K., & Ulbrich, U, 2003, Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. Journal of Hydrology, 284(1-4), 244-252.
- Ghahreman, N., Babayan, A. and Tabataba'i, S.M., 2016. Dynamic Outbound Processing of Climate Models in Estimating Potential Evapotranspiration Changes under Radiation Injection Scenarios (Case Study: Mashhad Plain). Physics of Earth and Space. 42 (3), 687-696. (In Parsian)
- Hassan M, Pengfei D, Jia Sh, Iqbal W, Mahmood R, Ba W, 2015, An Assessment of the South Asian Summer Monsoon Variability for Present and Future Climatologies Using a High Resolution Regional Climate Model (RegCM) under the AR5 Scenarios. Atmosphere, 6(11), 1833-1857
- Hosseini, S.S. and M.R. Nazari, 2015. Vulnerability and Adaptability Evaluation. Third National Report on Climate Change (UNFCCC) . 141p. www.climate-change.ir.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013, Summary for policymakers, in Climate Change (2013), The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by T. F. Stocker et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., and New York.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., XXX pp.
- IPCC., (2007), "Summary for Policymakers", in: Solomon, S., Qin, D., M., Manning, Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H., (eds.) Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental", Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A., (Eds.), Geneva, Switzerland. pp104.
- Manabe, S., Milly, P. C. D., Wetherald, R. (2004), Simulated Long-term Changes in River Discharge and Soil Moisture Due to Global Warming, Hydrological Sciences Journal, Vol. 49, No. 4, PP. 625-642.
- Marengo, J. A., Chou, S. C., Torres, R. R., Giarolla, A., Alves, L. M., & Lyra, A. (2014). Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. Working Paper No 73.
- Maroofpour, S., Fakheri-Fard, H., & Shiri, J, 2018, Modeling the Groundwater System Response to Variations of the Consumption and Surface Discharge. Water and Soil Science, 28(4), 169-181.
- Meddi, M., & Boucefiane, A, 2013, Climate change impact on groundwater in CheliffZahrez Basin (Algeria). APCBEE procedia, 5, 446-450.
- Meixner, T., Manning, A. H., Stonestrom, D. A., Allen, D. M., Ajami, H., Blasch, K. W., ... & Walvoord, M. A, 2016, Implications of projected climate change for groundwater recharge in the western United States. Journal of Hydrology, 534, 124-138.
- Nassery, H., & Salami, H, 2016, identifying vulnerable areas of aquifer under future climate change (case study: Hamadan aquifer, West Iran). Arabian Journal of Geosciences, 9(8), 1-16.
- Nouri, M., & Bannayan, M, 2019, spatiotemporal changes in aridity index and reference evapotranspiration over semi-arid and humid regions of Iran: trend, cause, and sensitivity analyses. Theoretical and Applied Climatology, 136(3), 1073-1084.
- Oyebande, L., & Odunuga, S, 2010, Climate change impact on water resources at the transboundary level in West Africa: the cases of the Senegal, Niger and Volta Basins. The Open Hydrology Journal, 4(1).



- Rossmann, N. R., Zlotnik, V. A., & Rowe, C. M, 2018, Using cumulative potential recharge for selection of GCM projections to force regional groundwater models: A Nebraska Sand Hills example. *Journal of Hydrology*, 561, 1105-1114.
- Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63. Pp 1379-1389.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498.
- Tukimat, N.N.A., Syukri, N.A. and Malek, M.A. 2019. Projection the long-term ungauged rainfall using integrated Statistical Downscaling Model and Geographic Information System (SDSM-GIS) model. *Heliyon*, 5(9), e02456.
- Twine T.; Kucharik C.; Jonathan A. Foley, 2005: Effects of El Niño–Southern Oscillation on the Climate, Water Balance, and Streamflow of the Mississippi River Basin, *Journal of Climate*, 18: 4840–4861. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3566.1>
- Xu, Z., Liu, Z., Fu, G., Yaning, C. (2010), Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years, *Journal of Arid Environments*, Vol.74, PP.256-267.
- Yue, T., Zhao, N., Fan, Z., Li, J., Chen, Ch., Lu, Y., Wang, Ch., Xu, B. and Wilson, J., 2016. CMIP5 downscaling and its uncertainty in China. *ELSEVIER*. Volume 146, Pages 30-37.
- Zarei, A. R., & Mahmoudi, M. R, 2021, Evaluation and comparison of the effectiveness rate of the various meteorological parameters on UNEP aridity index using backward multiple ridge regression. *Water Resources Management*, 35(1), 159-177.