

Research Paper

The effect of climate change on meteorological drought using the data of the Sixth Climate Change Report

(Case study: Shiraz city)

Mehdi Dastourani ^{1*}, Saeideh Hoseinabadi ², Mostafa Yaghoubzadeh ³, Mahdieyh Forouzan Mehr ⁴

1. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. PhD Student, Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

3. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand Research Group of Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran.

4. PhD Student, Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

Abstract

Introduction: Numerous studies have shown that climate change will have a severe impact on water resources around the world. Considering that one of the most important problems that human beings have faced in recent years is the water crisis and the occurrence of drought, in the present study, we have tried to investigate the occurrence of drought in Shiraz region in the context of climate change.

Methods: In this research, 4 models (BCC-ESM2-MR), (CanESM5), (MIROC6) and (MRI-ESM2-0) have been selected among the various models used in the sixth evaluation report. using the output of four GCM models presented in the Sixth Climate Change Report (CMIP6) and two scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5, precipitation data were generated for the next two periods 2025-2045 and 2065-2085. Micro-scale of data generated using BCSD method, drought severity was determined by standard precipitation drought index (SPI) with different time scales (6, 12 and 48 months) for the study area. This index is calculated for each region based on its long-term rainfall records. The simplicity and versatility of this index is one of its advantages. This index has a normal distribution and is flexible to different temporal and spatial scales. The length of the base period of the data analyzed in the current research was 20 years and related to the period of 1985-2005.

Findings: Microscale results using the BCSD method indicate an increase in temperature in both future periods. This increase applies to both maximum and minimum temperature parameters and both future periods. According to the results, it can be seen that the difference of the MIROC6 model in both emission scenarios with the observed values was greater than the other GCM models used. According to the results of the current research, in all the models used and in both SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios, the 20-year average values of the six-month SPI index show the most negative values. In addition, the

comparison of models and scenarios in the present study shows that the CanESM5 model shows a higher intensity of drought with a small difference than other models and can be used to predict the severity of drought in the study area. Also, the results of the mean values of SPI index for four models and over 20 years for the next two periods show that this index with a time scale of 48 months shows more severe drought intensity and in this time scale SSP5-8.5 scenario shows more severe drought intensity and normal range up to Drought is very severe compared to the base period.

***Corresponding author:** Mehdi Dastourani

Address: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

Tell: +989151636750

Email: mdastourani@birjand.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Drought is the most costly natural disaster, and since climate change has a positive effect on the hydrological cycle, the most important tool available for future climate simulation is the use of the output of paired atmospheric-ocean mating patterns. In order to study the drought from different dimensions and perspectives, various indicators have been developed, one of the most effective indicators is the standard precipitation index (SPI). Considering that most of the previous researches on the effect of climate change on drought have used the output of an ocean-atmosphere general circulation model, in the present study, considering 4 general atmosphere circulation models and 2 scenarios, the data of the sixth report have been tried. Is to compare the selected models and scenarios in Shiraz meteorological station. In other words, using the production data and with the help of SPI index, the drought situation for the next two periods of 2025-2045 and 2065-2085 has been studied and evaluated.

Materials and Methods

Shiraz city is one of the metropolises of Iran and the capital of Fars province in the south of the country, which according to the purpose of research, the study area is Shiraz synoptic station. The length of the base period of the data studied in the present study is 20 years and is related to the period of 2005-2005 that has been received from the Meteorological Organization of the whole country. From the various models used in the sixth evaluation report, 4 models (BCC-ESM2-MR), (CanESM5), (MIROC6) and (MRI-ESM2-0) have been selected. The sixth report of this committee, which is used in the present study, is presented in 2021. In its sixth report, the International Climate Change Board used the new SSP scenarios to represent the trajectories of different concentrations of greenhouse gas emissions. These scenarios include 5 key paths named SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 and SSP5. In the present study, two scenarios are SSP5-8.5 and SSP2-4.5. The microscaling method used in the present study is the BCSD method. In the present study, the standard precipitation index (SPI) has been used to quantify the rainfall deficit in multiple time scales.

McKee et al. (1993) introduced the SPI index to quantify precipitation deficit at multiple time scales (McKee et al, 1993: 179). This index can be calculated on time scales of 3, 6, 12, 24 and 48 months. The index was first developed by researchers at Colorado State University in 1993 to improve the state of water supply monitoring operations in the state. The purpose of SPI is to assign a numerical value to rainfall so that areas with different climates can be compared. The advantages of this index include its simplicity and versatility. This index has a normal distribution and is flexible to different time and space scales.

Discussion and Results

Results of 20-year average values of SPI index with different time scales for four models and two scenarios (ssp2-4.5 and ssp5-8.5) Sixth Climate Change Report data for the next two periods 2025-2045 and 2065-2085 It shows that in the study station for four models and both scenarios, the values of SPI index in all three time scales have negative values that further indicate the severity of drought, but the results show that in all models and scenarios in both future periods, the values The 20-year average of this index with a time scale of 6 months indicates the most negative values, and therefore to predict drought in the study area, the SPI index with a time scale of 6 months can be used. It is also clear that the results of the next two periods for all models used, in both scenarios are somewhat close to each other and with a general comparison in some cases, this index with a slight difference shows an increase in drought intensity in the second period. Also, in both scenarios, the results of the four models are somewhat close to each other, and the CANESM5 model, with a slight difference compared to the other three models, shows a higher drought intensity for both periods. The results show that it is better to use the SSP5-8.5 scenario to calculate the SPI drought index and predict the drought in a

pessimistic state. In the present study, the number of dry years in the basic period and the next two periods for four models and two scenarios in 6, 12 and 48 month time scales are expressed. The results show that the number of dry years in the 6 month scale in both scenarios compared to The base period has equal or smaller values, while this number has increased in both the 12 and 48 month scales for both scenarios compared to the base period. Also, according to the results in the first period and in the most pessimistic case, the number of dry years is estimated to be 12 years, which BCC, CAN and MRI models show this number. The results of the second period also show 13 dry years by the CAN model, which may occur in the most pessimistic case.

Conclusion

In the current study, 4 GCM models related to the data of the sixth IPCC report including (BCC-ESM2-MR), (CanESM5), (MIROC6) and (MRI-ESM2-0) were used to predict drought in the study area, under two scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5.

Also, BCSD method was used for exponential scaling of climatic data and climatic parameters were estimated for the next two periods, and the results show an increase in the maximum and minimum temperature values in the future periods compared to observations. Then, with the help of SPI index, the severity of drought was determined in time scales of 6, 12 and 48 months. The 20-year average values of this index with a 6-month time scale show the most negative values. The results of the present study show that the CAN model can be used in the studied area, and for the next two periods, the results show that the SPI index with a time scale of 48 months shows the severity of drought more, and in this time scale, the SSP5-8.5 scenario indicates an increase in drought

intensity, and therefore, in the most pessimistic case, we can use the forty-eight-month SPI index under the SSP5-8.5 scenario.

زودبایند ویرایش نشده

اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی هواشناسی به کمک داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان شیراز)

مهدی دستورانی^{۱*}، سعیده حسین‌آبادی^۲، مصطفی یعقوب‌زاده^۳، مهدیه فروزان‌مهر^۴

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

مقدمه: مطالعات متعدد نشان داده‌اند که تغییرات آب‌وهوایی تأثیرات شدیدی بر منابع آب موجود در سراسر جهان خواهد گذاشت. با توجه به اینکه یکی از مهمترین مشکلاتی که بشر در سال‌های اخیر با آن مواجه شده است، بحران آب و وقوع خشک‌سالی است در مطالعه‌ی حاضر سعی شده است که وقوع خشک‌سالی در منطقه شیراز و در شرایط تغییر اقلیم بررسی گردد.

روش: در تحقیق حاضر از بین مدل‌های متنوعی که در گزارش ارزیابی ششم به کار رفته است، ۴ مدل (BCC-ESM2-MR)، (CanESM5)، (MIROC6) و (MRI-ESM2-0) مورد انتخاب قرار گرفته است. با استفاده از خروجی چهار مدل GCM ارائه شده در گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) و دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 اقدام به تولید داده‌های بارش برای دو دوره‌ی آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ گردید و پس از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های تولید شده با استفاده از روش BCSO، شدت خشک‌سالی به کمک شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد (SPI) با مقیاس‌های زمانی مختلف (۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه) برای منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. سادگی و چندکاره بودن این شاخص از مزایای آن به شمار می‌رود. این شاخص دارای توزیع نرمال است و نسبت به مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت، انعطاف‌پذیری دارد. طول دوره پایه داده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر، ۲۰ سال و مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۵ بوده است.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از روش BCSO نشان‌دهنده افزایش مقدار دما در هر دو دوره آتی می‌باشد. این افزایش در مورد هر دو پارامتر دمای بیشینه و کمینه و هر دو دوره آتی صدق می‌کند. که با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد اختلاف مدل MIROC6 در هر دو سناریوی انتشار با مقادیر مشاهداتی نست به سایر مدل‌های GCM استفاده شده، بیشتر بوده است. طبق سایر نتایج پژوهش حاضر، در تمام مدل‌های مورد استفاده و در هر دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5، مقادیر میانگین ۲۰ ساله‌ی شاخص SPI شش ماهه نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقادیر منفی است. علاوه بر این، مقایسه‌ی مدل‌ها و سناریوها در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مدل CanESM5 با اختلاف کم نسبت به مدل‌های دیگر شدت خشک‌سالی را بیشتر نشان می‌دهد و می‌توان برای پیش‌بینی شدت خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی از این مدل استفاده نمود. همچنین نتایج مقادیر میانگین شاخص SPI برای چهار مدل و طی ۲۰ سال برای دو دوره‌ی آتی نشان می‌دهد که این شاخص با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شدت خشک‌سالی را بیشتر نشان می‌دهد و در این مقیاس زمانی سناریوی SSP5-8.5 نشان‌دهنده‌ی شدت بیشتر خشک‌سالی و محدوده نرمال تا خشک‌سالی بسیار شدید نسبت به دوره‌ی پایه می‌باشد.

* نویسنده مسئول: مهدی دستورانی

نشانی: گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

تلفن: ۰۹۱۵۱۶۳۶۷۵۰

پست الکترونیکی: mdastourani@birjand.ac.ir

مقدمه

خشکسالی پرهزینه‌ترین فاجعه طبیعی است که می‌تواند تأثیراتی سوء بر کشاورزی، محیط‌زیست، اقتصاد و زندگی انسان‌ها بگذارد (۱) بنابراین باید همواره تأثیر تغییرات اقلیمی بر پارامترهای هواشناسی و خشکسالی بررسی شود. خشکسالی به دلیل تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات کوتاه و بلندمدت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی از جمله مهم‌ترین حوادث طبیعی به‌شمار می‌رود (۲) و به همین اساس نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار دارد. خشکسالی در کنوانسیون سازمان ملل متحد، برای مبارزه با بیابان‌زایی به عنوان پدیده‌ای طبیعی تعریف شده است که به طور طبیعی زمانی ایجاد می‌شود که میزان بارندگی به میزان قابل توجهی کمتر از حد معمول ثبت شده باشد و به دلیل ویژگی فوق‌العاده‌ای که دارد، تأثیر قابل توجهی در سطوح اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی دارد (۳).

بر اساس نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه خشکسالی، مشخص شده است که بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع، شدت و تداوم خشکسالی دارند. با وجود این بارش، مهم‌ترین عامل در تعیین آغاز، شدت و خاتمه خشکسالی‌ها است (۴) و (۵). خشکسالی با کمبود بارندگی آغاز و بسته به طول مدت و شدت آن می‌تواند پارامترهایی نظیر رطوبت خاک، حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی و اکوسیستمی را تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو محققان خشکسالی را در چهار دسته‌ی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی نموده‌اند (۶). خشکسالی هواشناسی از مهم‌ترین انواع خشکسالی‌هاست که به دلیل کمبود و یا کاهش مقدار بارندگی طی دوره‌ای از زمان به‌وجود می‌آید و بررسی، پیش‌بینی و برآورد احتمال وقوع آن به‌عنوان سرآغاز پدیده خشکسالی می‌تواند تا حد بسیار زیادی از خسارت‌های این رخداد طبیعی بکاهد و در مدیریت بحران کمک فراوانی نیز داشته باشد (۷).

با توجه به اینکه تغییر اقلیم تأثیر به‌سزایی بر چرخه هیدرولوژیکی و در نتیجه بر منابع آب، فراوانی و شدت خشکسالی و سیل دارد، مهم‌ترین ابزار موجود بر شبیه‌سازی اقلیمی آینده، استفاده از خروجی الگوهای جفت‌شده جو-اقیانوس گردش عمومی جو است (۸). به‌منظور بررسی

خشکسالی از ابعاد و دیدگاه‌های مختلف، شاخص‌های متنوعی ابداع شده است که اساس این شاخص‌ها اغلب بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. یکی از کاراترین نمایه‌ها، شاخص بارش استاندارد (SPI) است که اولین بار توسط مک‌کی استفاده شد (۹).

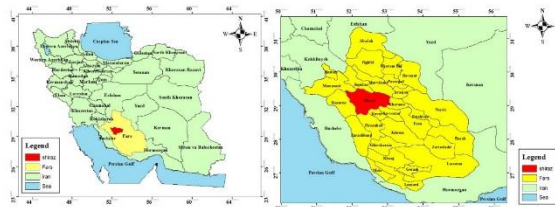
همواره پژوهش‌های متعددی به‌منظور بررسی تأثیرات وقوع خشکسالی در جهان و ایران انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. مرید و همکاران (۲۰۰۶) در طراحی سیستم پایش خشکسالی برای استان تهران به مقایسه شاخص‌های خشکسالی DI، SPI، CZI، MCZI و EDI پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های SPI و EDI نسبت به بقیه شاخص‌ها عملکرد بهتری را داشته‌اند (۱۰). طی پژوهشی دیگر هانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۶) به بررسی شدت، مدت و گسترش خشکسالی در حوضه رودخانه لانگات مالزی پرداختند. در پژوهش یاد شده شاخص‌های SPI و RDI نشان‌دهنده روند صعودی خشکسالی‌ها در این منطقه است (۱۱). پژوهش هاشمی‌عنا و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان‌دهنده افزایش ۲۰ درصدی طول دوره خشک در جنوب غربی ایران تا سال ۲۰۵۰ است (۱۲). لی و همکاران^۲ (۲۰۱۷) طی پژوهشی در چین، تغییرات در ویژگی‌های خشکسالی (فراوانی وقوع خشکسالی، مدت و شدت) برای سناریوی اقلیمی RCP 8.5 طی سال‌های آبی ۲۰۱۰-۲۰۹۹ بررسی نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تحت سناریوی RCP 8.5 برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۰ شدت، مدت و تعداد خشکسالی‌ها افزایش خواهد یافت (۱۳). یعقوب‌زاده و همکاران نیز (۱۳۹۶) در طی پژوهشی به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص‌های ETDI و SPI پرداختند که نتایج نشان می‌دهد شاخص ETDI به علت وابسته بودن خشکسالی کشاورزی به کمبود تبخیر و تعرق نتایج بهتری دارد و همچنین شاخص SPI برای تعیین خشکسالی کشاورزی در این پژوهش پیشنهاد نمی‌شود (۱۴). در پژوهشی دیگر هرناندز و همکارانش^۳ (۲۰۲۰)، به مطالعه خشکسالی در یک زمینه مکانی-زمانی در مقیاس‌های ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه با شاخص‌های SPI و SPEI در ۱۹ ایستگاه هواشناسی واقع در بخش‌های میانی و مرتفع حوضه رودخانه SONORA در مکزیک، طی دوره ۲۰۱۳-۱۹۷۴ پرداختند.

³ Hernandez et al¹ Huang et al² Li et al

(۲۰۲۱) و آیوگی و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۱) نیز در پژوهش‌های خود برای بررسی شاخص‌های خشکسالی در دوره آتی از داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 بهره گرفته‌اند (۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳). با توجه به اینکه در اکثر تحقیقات صورت‌گرفته‌ی پیشین در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی از خروجی یک مدل گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر استفاده شده است و این مدل‌ها دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند که توجه نکردن به آن‌ها می‌تواند سبب ایجاد خطا در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی شود (۲۴). در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن ۴ مدل گردش عمومی جو و ۲ سناریو از داده‌های گزارش ششم سعی شده است که مقایسه‌ای بین مدل‌ها و سناریوهای انتخابی در ایستگاه هواشناسی شیراز انجام گیرد. به عبارتی با استفاده از داده‌های تولیدی و به کمک شاخص SPI وضعیت خشک‌سالی برای دو دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

شهرستان شیراز یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان فارس در جنوب کشور است. پنجمین شهر بزرگ و پرجمعیت‌ترین شهر جنوب کشور به شمار می‌رود. این شهرستان در بخش مرکزی استان فارس و در ارتفاع ۱۴۸۶ متری از سطح دریا و در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و آب و هوای معتدلی دارد که شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به هدف تحقیق، منطقه مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک شیراز است که جدول ۱ معرف مشخصات و موقعیت این ایستگاه است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه سینوپتیک مطالعاتی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	دمای روزانه (درجه سانتیگراد) حداقل	بارش روزانه (میلی‌متر) حداکثر	رطوبت نسبی (درصد)	اقلیم
شیراز	۳۶°۵۲'	۳۳°۵۲'	۵/۴۴	۲۵	۳۵	معتدل

نتایج کلی این پژوهش نشان می‌دهد شدت خشکسالی در پایان سری زمانی مورد بررسی افزایش یافته و دوره‌های مهمی در سال‌های ۱۹۹۷، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳-۲۰۱۱ شناسایی شده است. همچنین شاخص SPEI دوره‌های خشکسالی و روند شدت افزایشی را بهتر از SPI نشان داده است (۱۵). سهاروردی و همکاران^۴ (۲۰۲۱)، در پژوهش خود به ارزیابی تغییرپذیری مکانی-زمانی گذشته، حال و آینده در منطقه‌ای در مرکز هند پرداخته‌اند. در این پژوهش از دو شاخص خشکسالی SPI و SPEI به منظور پایش کوتاه مدت و بلند مدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. با بررسی نتایج این پژوهش مشاهده شد که فراوانی خشکسالی از ابتدای قرن ۲۱ به‌ویژه در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است. این منطقه به علت بارندگی کمتر و دمای بیشتر در برابر خشکسالی آسیب‌پذیرتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد ۴۰٪ از خشکسالی‌های منطقه مورد مطالعه مرتبط با رویدادهای الینو بوده که در دهه‌های اخیر قوی‌تر بوده‌اند (۱۶). نوگورا و همکاران^۵ (۲۰۲۱)، در طی پژوهشی و با استفاده از شاخص‌های SPI، EDDI و SPEI به بررسی واکنش خشکسالی ناگهانی به بارندگی و تقاضای تبخیر جوی (AED) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۱ در اسپانیا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تفاوت‌های زیادی در الگوهای زمانی و مکانی خشکسالی‌های ناگهانی بین شاخص‌ها وجود دارد. به‌طورکلی، به جز جنوب اسپانیا در تابستان، درجه بالایی از سازگاری بین الگوهای خشکسالی ناگهانی شناسایی شده توسط SPI و SPEI وجود دارد. همچنین EDDI تفاوت‌های مکانی و زمانی قابل توجهی را از SPI در زمستان و تابستان نشان می‌دهد در حالی که انسجام زیادی با SPEI در تابستان دارد. علاوه بر این بارش عامل اصلی خشکسالی‌های ناگهانی در اسپانیا می‌باشد (۱۷).

تعدادی دیگر از پژوهش‌ها وجود دارد که در آن‌ها شاخص‌های خشکسالی برای دوره آتی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است که در آن برای پیش‌بینی داده‌های دوره آتی از داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 بهره گرفته شده است. در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود. ادهر و همکاران^۶ (۲۰۲۱) طی پژوهشی با استفاده از ۱۶ مدل CMIP6-GCM علت بالقوه خشکسالی در جنوب آسیا را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد پیش‌بینی‌های مبتنی بر مجموعه چند مدل به این معناست که CMIP6-GCM در آسیای جنوبی قابل اعتماد نیستند (۱۸). وانگ و همکاران^۷ (۲۰۲۱)، چیانگ و همکاران^۸ (۲۰۲۱)، سانگ و همکاران^۹ (۲۰۲۱)، مریسا و همکاران^{۱۰}

⁸ Chiang et al

⁹ Song et al

¹⁰ Meresa et al

¹¹ Ayugi et al

⁴ Saharwardi et al

⁵ Noguera et al

⁶ Adhar et al

⁷ Wang et al

طول دوره پایه داده‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر ۲۰ سال و مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۵ می‌باشد که از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده است.

انتخاب مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای انتشار آن‌ها:

امروزه تهیه و استخراج داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی قابل دسترس است. یکی از این مراکز سایت <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/> است. باید در نظر داشت که قدرت تفکیک مدل‌های اقلیمی مختلف و در حقیقت طول و عرض جغرافیایی سلولی که ایستگاه مورد نظر در آن قرار گرفته با یکدیگر متفاوت است. از بین مدل‌های متنوعی که در گزارش ارزیابی ششم به کار رفته است، ۴ مدل (BCC-ESM2-MR)، (CanESM5)، (MIROC6) و (MRI-ESM2-0) مورد انتخاب قرار گرفته است. از آنجا که مهم‌ترین ورودی مدل‌های اقلیمی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آبی بوده و از طرفی میزان انتشار این گازها به طور قطعی امکان‌پذیر نیست، بنابراین سناریوهای مختلفی که دربرگیرنده تغییرات این گازها در آینده می‌باشند به نام سناریوهای انتشار نامیده می‌شوند. هیات بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC با هدف اصلی شناخت جنبه‌های تغییر اقلیم و بخصوص چگونگی اثر فعالیت‌های انسانی بر آن، پس از بررسی عنوان کرد که عوامل طبیعی و غیرطبیعی باعث برهم خوردن شرایط حاکی بر اجزای مختلف اقلیم کره زمین می‌شود. این هیات از زمان شروع به کار خود مجموعه‌ای از

گزارشات ارزیابی و تخصصی و مقالات فنی را منتشر نموده که به عنوان معتبرترین منابع اطلاعاتی در مورد تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند و تاکنون گزارش‌های ارزیابی اول تا ششم را تهیه و منتشر کرده است. گزارش ششم این هیات که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است در سال ۲۰۲۱ ارائه شده است. این گزارش آخرین پیشرفت‌ها در علوم آب‌وهوایی، مشاهدات، دبرینه اقلیم‌شناسی و شبیه‌سازی‌های اقلیمی را گرد هم می‌آورد تا به‌روزترین درک علوم فیزیکی از تغییرات آب‌وهوا را ارائه دهد. همچنین، این گزارش تأثیرات انسانی بر وضعیت فعلی آب‌وهوا و چگونگی تأثیرگذاری آب‌وهوای آینده بر مناطق مختلف در سراسر جهان را تشریح می‌کند. یافته‌های این گزارش به ارائه درک درستی از وضعیت آب‌وهوای فعلی و آینده می‌پردازد و عملاً آنچه را برای محدود کردن پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی در کره زمین لازم است، توصیف می‌کند. هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش ششم خود از سناریوهای جدید SSP تحت عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. این سناریوها شامل ۵ سیر کلیدی با نام‌های SSP1، SSP2، SSP3، SSP4 و SSP5 می‌باشند. در پژوهش حاضر از دو سناریو-SSP5 و 8.5 و SSP2-4.5 استفاده شده است که میزان واداشت تابشی این دو سناریو تا سال ۲۱۰۰ میلادی به ترتیب ۸/۵ و ۴/۵ وات بر متر مربع عنوان شده است. مشخصات کلی ۴ مدل مورد استفاده در پژوهش حاضر جهت ارزیابی تغییر اقلیم در دوره‌های آبی در جدول ۲ بیان گردیده است.

جدول ۲- مشخصات مدل‌های GCM

Row	Model Name	Developing Country	Research Center	Resolution scale (degree)
1	BCC-ESM2-MR	China	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	1.12°×1.12°
2	CanESM5	Canada	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis-Canada	2.81°×2.78°
3	MIROC6	Japan	National Institute for Environmental Studies, The university of Tokyo	1.4°×1.4°
4	MRI-ESM2-0	Japan	Meteorological Research Institute	1.12°×1.12°

شده استفاده می‌کند. روش‌های دینامیکی به دلیل پر هزینه بودن و دشواری و همچنین عدم امکان تولید داده برای انواع سناریوهای مختلف، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۵). در مقابل روش‌های آماری با محاسبات ساده آماری، صرف زمان و هزینه کم امکان بررسی انواع سناریوهای اقلیمی و تحلیل عدم قطعیت آن‌ها را دارند. روش ریزمقیاس‌نمایی مورد استفاده در پژوهش حاضر، روش BCSD است. این روش اولین بار توسط وود و همکاران^{۱۳} در سال ۲۰۰۲ به منظور تخمین مولفه‌های هیدرولوژی دراز مدت به کار گرفته شد و

روش ریزمقیاس‌نمایی جداسازی مکانی تصحیح

اریبی^{۱۲} BCSD

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن نسبت به منطقه مطالعاتی است. دو نوع تکنیک برای به دست آوردن متغیرها در مقیاس محلی (ریز مقیاس‌نمایی) از روی مقیاس جهانی وجود دارد، یکی روش دینامیکی که شامل حل صریح معادلات دینامیکی سیستم است و دیگری روش آماری که از رابطه‌های استخراج شده از داده‌های مشاهده

¹³ Wood et al

¹² Bias-Corrected Spatial Disaggregation

امروزه در مطالعات اقلیم‌شناسی با مقیاس ماهانه به وفور استفاده می‌شود. فرآیند ریزمقیاس‌نمایی با این روش در ۳ گام به شرح زیر انجام می‌شود (۲۶):

۱- اصلاح انحراف آماری خروجی مدل‌های گردش عمومی در مقیاس ماهانه: در این گام دو ضریب اصلاحی برای دما و بارندگی دوره مربوط به خروجی مدل‌های اقلیمی تولید می‌شود.

۲- بعد از محاسبه ضرایب اصلاحی برای نقاط شبکه مدل‌های اقلیمی، با استفاده از ابزار درون‌یابی این ضرایب برای دقت‌های بالاتر 1×1 ، 0.5×0.5 ، 0.25×0.25 و 0.125×0.125 کیلومتر مربع طبق رابطه‌ی (۱) برآورد می‌گردد.

$$\begin{cases} GCM_t = F_t + OBS_t \\ GCM_p = F_p * OBS_p \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه GCM_t و GCM_p به ترتیب دما و بارندگی ماهانه خروجی مدل‌های گردش عمومی، OBS_t و OBS_p به ترتیب دما و بارندگی ماهانه مشاهداتی ایستگاه مورد نظر و در نهایت F_t و F_p ضریب اصلاحی برای بارندگی و دمای نقاط شبکه خروجی مدل‌های گردش عمومی می‌باشند.

۳- ضرایب اصلاحی به‌دست آمده برای دقت‌های بالاتر در مقادیر مشاهداتی اعمال می‌شود تا خروجی مدل‌های گردش عمومی برای دقت مورد نظر برآورد گردد.

در نهایت با قبول فرضیه یکسان بودن میزان انحراف در دوره پایه و آتی خروجی مدل‌های گردش عمومی تغییرات مولفه‌های اقلیمی برای سال‌های آتی تعیین می‌گردد.

در پژوهش حاضر جهت استفاده از این روش ریزمقیاس‌نمایی از نرم‌افزار RStudio و پکیج آماری qmap استفاده شده است.

شاخص بارش استاندارد (SPI):

مک‌کی و همکاران^۴ (۱۹۹۳)، شاخص SPI را برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه معرفی کردند (۹). این شاخص برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود. شاخص خشکسالی وسیله‌ای است که با خلاصه نمودن اطلاعات خشکسالی به صورت دوره‌ای، اطلاعات شرایط رطوبتی در منطقه را نشان می‌دهد. اطلاعات این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه (کوتاه‌مدت و بلندمدت) محاسبه کرد. SPI کوتاه‌مدت شرایط رطوبت کوتاه‌مدت را منعکس و برآورد فصلی از بارندگی را مشخص می‌نماید و در این مدل تغییرات بیشتری وجود دارد و نشان‌گر آن است که SPI کوتاه‌مدت، حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبت دارد. این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط محققان دانشگاه ایالت کلرادو توسعه داده شد تا وضعیت عملیاتی پایش تامین منابع آب را در این ایالت بهبود بخشند. هدف SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی می‌باشد که بتوان نواحی با آب و هوای متفاوت را با هم مقایسه نمود. از مزایای این شاخص می‌توان به سادگی آن و چند کاره‌بودن آن اشاره نمود. این شاخص دارای توزیع نرمال است و نسبت به مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت انعطاف‌پذیری دارد. این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

که در آن SPI: شاخص استاندارد بارندگی، P_i : مقادیر بارش، \bar{P} : میانگین متوسط درازمدت بارش و SD: انحراف از معیار داده است (۲۷). جدول ۳ مقیاس طبقه‌بندی SPI را نشان می‌دهد. طبق این جدول هرگاه مقادیر SPI منفی باشد و مقدار آن به -1 یا کمتر برسد معرف وقوع خشکسالی است. همچنین مقادیر مثبت آن، نشان‌دهنده خاتمه دوره خشکسالی است. در پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی شهرستان شیراز، شاخص بارش استاندارد (SPI) مورد تحلیل قرار گرفته است.

جدول ۳- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد (SPI)

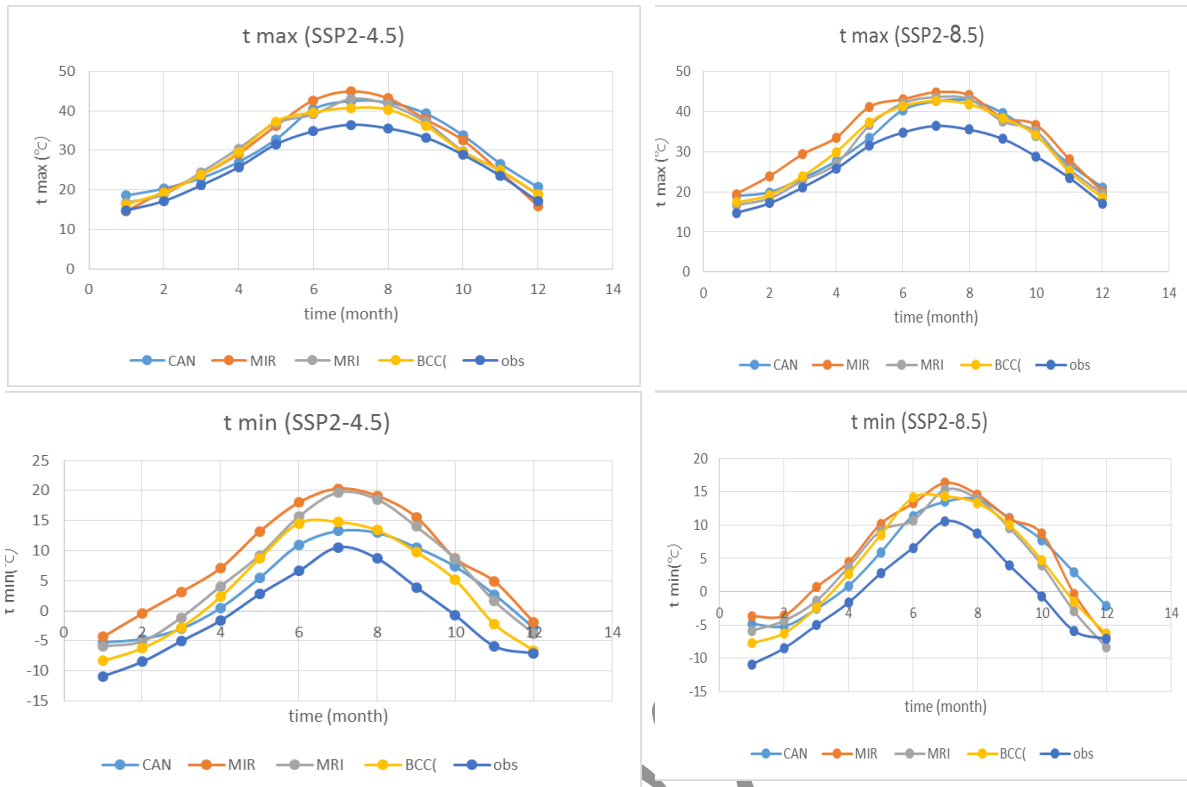
طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار شاخص SPI
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر از آن
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
وضعیت نرمال	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر

نتایج ریزمقیاس‌نمایی دمای بیشینه و کمینه و مقایسه آن با مقادیر مشاهداتی در دو دوره آتی اول و دوم می‌باشد. با توجه به شکل‌ها، در مورد تغییرات دما در دو دوره آتی می‌توان گفت که این مقادیر نسبت به مقادیر مشاهداتی افزایش داشته است. این افزایش در مورد هر دو پارامتر دمای بیشینه و کمینه و در هر دو دوره آتی صدق می‌کند.

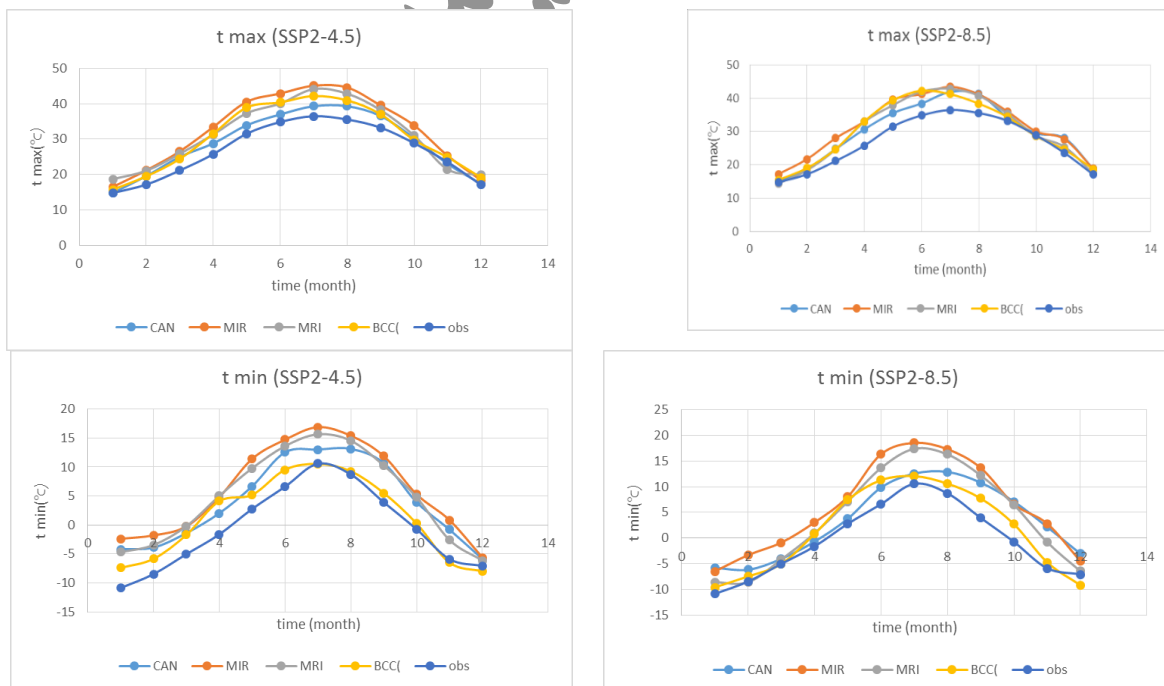
بحث و نتایج

در پژوهش حاضر، سناریوهای تغییر اقلیم در دو دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ تهیه و تولید گردید و مقادیر ماهانه دما و بارش تعیین و با روش BCSD ریزمقیاس‌نمایی شده است. شکل ۲ و ۳ نشان‌دهنده

طبق نتایج شکل‌ها مشاهده می‌شود که اختلاف مدل‌ها با مقادیر مشاهداتی در مدل MIROC6، در هر دو سناریوی انتشار از بقیه مدل‌های GCM استفاده شده، بیشتر بوده است.



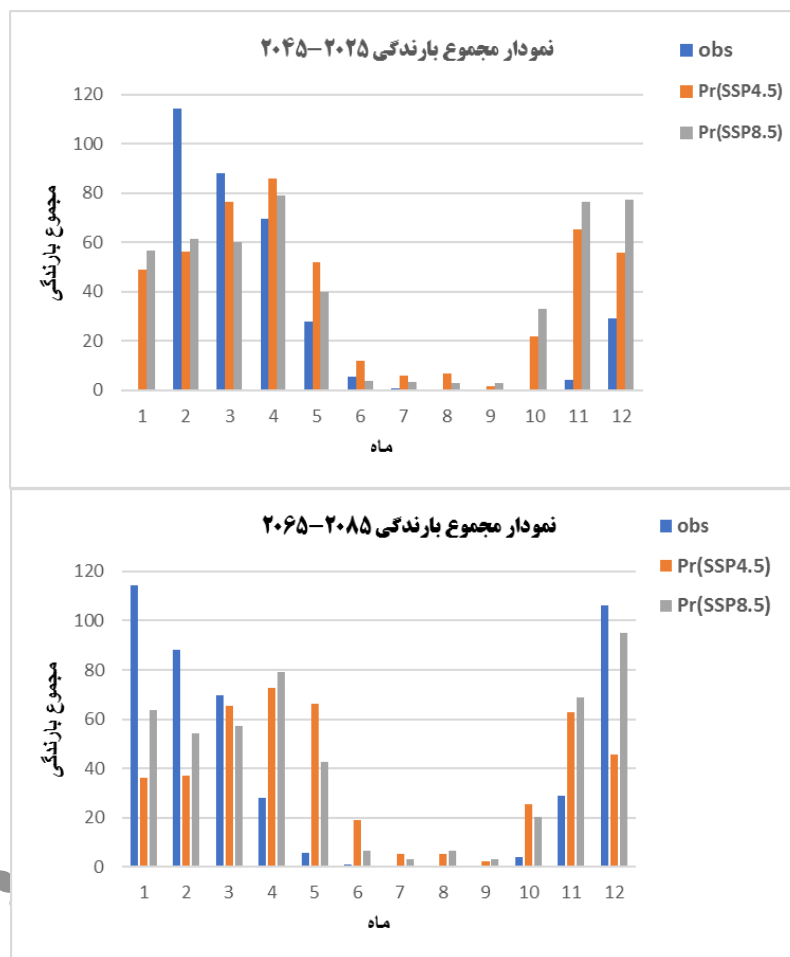
شکل ۲- تغییرات دمای بیشینه و کمینه در دو دوره پایه و آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵



شکل ۳- تغییرات دمای بیشینه و کمینه در دو دوره پایه و آتی ۲۰۶۵-۲۰۸۵

باقی ماه‌ها با افزایش بارندگی نسبت به دوره پایه همراه بوده‌اند. ولی در دوره آتی دوم نتایج نشان‌دهنده‌ی افزایش بارندگی در ماه‌های آوریل تا نوامبر می‌باشد و سایر ماه‌ها با کاهش بارندگی نسبت به دوره پایه همراه خواهند بود.

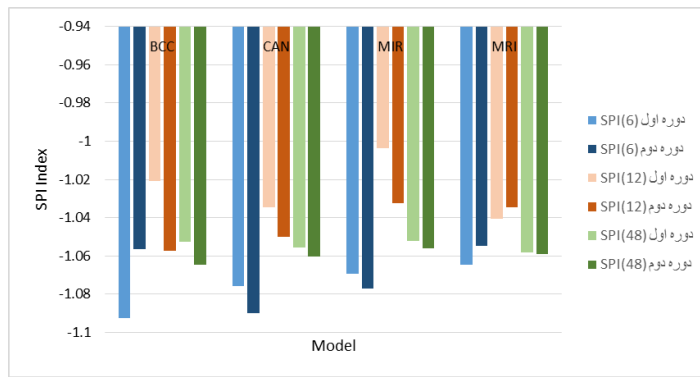
با توجه به نتایج شکل ۴، مشاهده می‌شود که مقادیر بارندگی در ماه‌های ابتدایی و انتهایی سال نسبت به دوره پایه، در دوره آتی اول افزایش ولی در دوره آتی دوم کاهش داشته است. همچنین نتایج مجموع بارندگی در دوره آتی اول نشان می‌دهد که غیر از دو ماه فوریه و مارس،



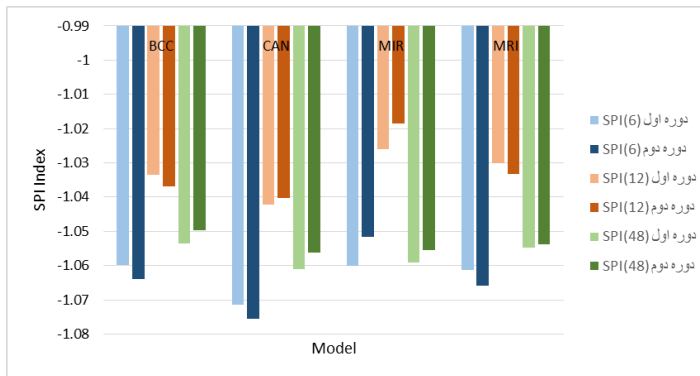
شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر) مدل‌های مورد مطالعه در دو دوره ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵

نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقادیر منفی است و بنابراین برای پیش‌بینی خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی می‌توان از شاخص SPI با مقیاس زمانی ۶ ماهه استفاده نمود. همچنین مشخص است که نتایج دو دوره‌ی آتی برای تمام مدل‌های استفاده شده، در هر دو سناریو تا حدودی نزدیک به هم بوده و با مقایسه‌ی کلی در مواردی این شاخص با اختلاف ناچیزی افزایش شدت خشک‌سالی را در دوره دوم بیشتر نشان می‌دهد. همچنین در هر دو سناریو نتایج چهار مدل تا حدودی نزدیک به هم بوده و مدل CANESM5 با اختلاف ناچیزی نسبت به سه مدل دیگر، شدت خشک‌سالی بیشتری را برای هر دو دوره نشان می‌دهد.

شکل ۵، نشان‌دهنده‌ی مقادیر متوسط ۲۰ ساله‌ی شاخص SPI با مقیاس‌های زمانی متفاوت (۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه) برای چهار مدل و دو سناریو (ssp2-4.5 و ssp5-8.5) داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم برای دو دوره‌ی آتی ۲۰۲۵-۲۰۴۵ و ۲۰۶۵-۲۰۸۵ است که با توجه به این شکل مشاهده می‌گردد که در ایستگاه مورد مطالعه برای چهار مدل و هر دو سناریو مقادیر شاخص SPI در هر سه مقیاس زمانی دارای مقادیر منفی هستند که شدت خشک‌سالی را بیشتر مشخص می‌نمایند اما نتایج نشان می‌دهد که در تمام مدل‌ها و سناریوها در هر دو دوره‌ی آتی، مقادیر میانگین ۲۰ ساله‌ی این شاخص با مقیاس زمانی ۶ ماهه



(الف)



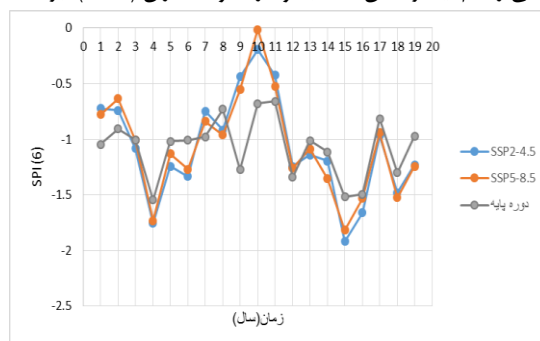
(ب)

شکل ۵- شاخص SPI برای دو دوره آتی اول (۲۰۲۵-۲۰۴۵) و دوم (۲۰۶۵-۲۰۸۵)

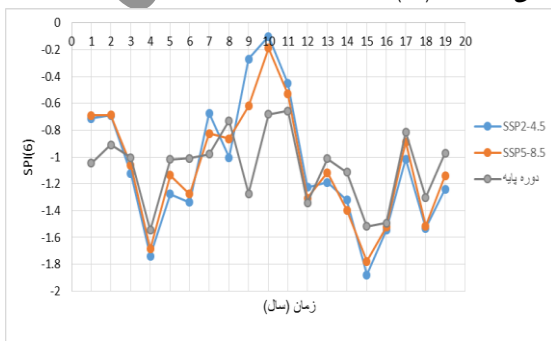
الف) سناریوی SSP2-4.5 **ب) سناریوی SSP5-8.5**

جهت مقایسه‌ی سناریوهای مورد استفاده در تحقیق حاضر، مقادیر میانگین شاخص SPI برای چهار مدل محاسبه گردید و مقادیر آن در مقیاس‌های زمانی متفاوت و طی ۲۰ سال برای دو دوره‌ی آتی مطابق شکل‌های ۶ تا ۸ رسم گردد که نتایج نشان می‌دهد شاخص SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شدت خشک‌سالی را در هر دو دوره بیشتر نشان می‌دهد و در این مقیاس زمانی در منطقه مورد مطالعه، سناریوی SSP5-8.5 در دوره‌ی آتی مورد بررسی شدت خشک‌سالی را کمی بیشتر نشان می‌دهد و بیان‌گر وضعیت نرمال تا خشک‌سالی بسیار شدید در دوره می‌باشد. بنابراین بهتر است جهت محاسبه‌ی شاخص خشک‌سالی SPI و پیش‌بینی خشک‌سالی در حالت بدبینانه از این سناریو استفاده گردد زیرا این سناریو دما را نسبت به بقیه سناریوها بیشتر نشان می‌دهد و در این صورت انتظار می‌رود که میزان خشک‌سالی را هم بیشتر نشان دهد. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز

برای مقیاس‌های زمانی طولانی‌مدت این شاخص نسبت به مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت آن، افزایش خشک‌سالی بیشتر را نشان دادند (۲۸). نصیری و همکاران (۱۳۸۸) نیز در تحقیقات نتایج SPI بیش از ۱۲ ماهه را برای مطالعه دوره‌های خشک در شهرستان مرودشت رضایت‌بخش اعلام نمودند (۲۹). همچنین حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهش خود با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم به ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در دو شهرستان زابل و شیراز پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ و ۴۸ ماه نسبت به ۳ ماهه شدت خشک‌سالی را بیشتر نشان می‌دهند و همچنین مدل MIROC-ESM نسبت به مدل‌های دیگر و سناریوی RCP8.5 نسبت به سناریوهای دیگر برای دو شهرستان مورد مطالعه خشک‌سالی را با شدت بیشتری نشان داده است (۳۰).

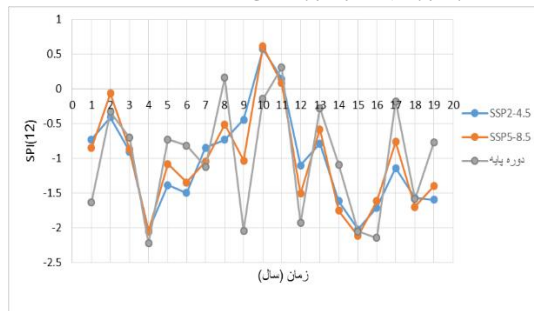


الف) دوره اول

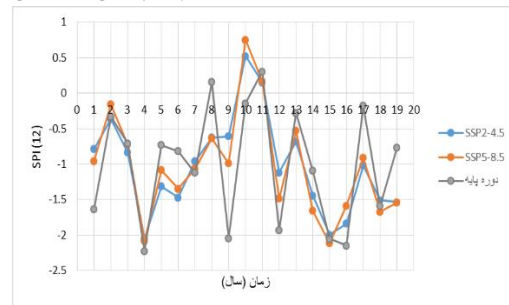


ب) دوره دوم

شکل ۶- سری زمانی شاخص SPI شش ماهه در دوره پایه و دوره آتی

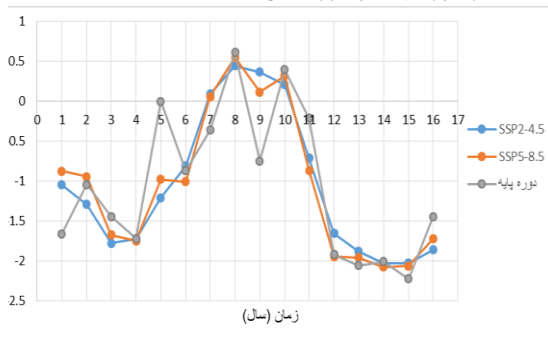


ب) دوره دوم

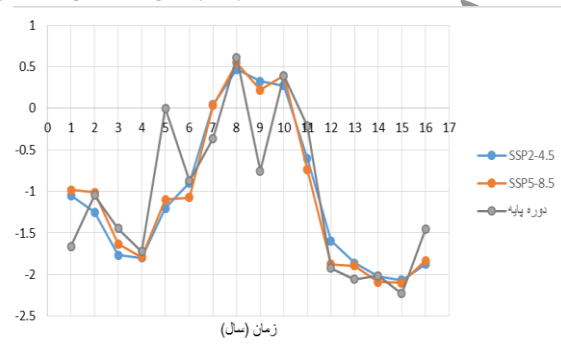


الف) دوره اول

شکل ۷- سری زمانی شاخص SPI دوازده ماهه در دوره پایه و دوره آتی



ب) دوره دوم



الف) دوره اول

شکل ۸- سری زمانی شاخص SPI چهل و هشت ماهه در دوره پایه و دوره آتی

پایه افزایش یافته است. همچنین طبق نتایج در دوره آتی اول و در بدبینانه‌ترین حالت، تعداد سال‌های خشک برابر ۱۲ سال برآورد شده است که مدل‌های BCC، CAN و MRI نشان‌دهنده این تعداد می‌باشند. نتایج دوره آتی دوم نیز نشان‌دهنده ۱۳ سال خشک توسط مدل CAN است که در بدبینانه‌ترین حالت ممکن است رخ دهد.

در تحقیق حاضر همچنین تعداد سال‌های خشک در دوره پایه و دو دوره آتی برای چهار مدل و دو سناریو در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج دو جدول نشان می‌دهد که تعداد سال‌های خشک در مقیاس ۶ ماهه در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه، دارای مقادیری برابر یا کوچکتر است در حالیکه این تعداد در دو مقیاس ۱۲ و ۴۸ ماهه برای هر دو سناریو نسبت به دوره

جدول ۱. تعداد سال‌های خشک در طی دوره آتی اول (۲۰۲۵-۲۰۴۵) و دوره پایه برای چهار مدل و دو سناریوی انتشار در مقیاس‌های زمانی مختلف

مقیاس زمانی				
SPI				
مدل	سناریو	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۴۸ ماهه
BCC	SSP2-4.5	۱۱	۹	۹
	SSP5-8.5	۱۲	۱۱	۸
CAN	SSP2-4.5	۱۲	۹	۹
	SSP5-8.5	۱۲	۱۰	۹
MIR	SSP2-4.5	۱۰	۹	۹
	SSP5-8.5	۱۰	۹	۹
MRI	SSP2-4.5	۱۲	۱۰	۱۱
	SSP5-8.5	۱۰	۱۱	۹
دوره پایه		۱۲	۹	۹

جدول ۲. تعداد سال‌های خشک در طی دوره آتی دوم (۲۰۶۵-۲۰۸۵) و دوره پایه برای چهار مدل و دو سناریوی انتشار در مقیاس‌های زمانی مختلف

مقیاس زمانی SPI				
مدل	سناریو	۶ ماهه	۱۲ ماهه	۴۸ ماهه
BCC	SSP2-4.5	۱۱	۱۱	۹
	SSP5-8.5	۱۲	۱۲	۹
CAN	SSP2-4.5	۱۳	۱۰	۱۰
	SSP5-8.5	۱۲	۱۰	۹
MIR	SSP2-4.5	۱۲	۱۰	۹
	SSP5-8.5	۱۰	۱۰	۹
MRI	SSP2-4.5	۱۱	۱۱	۹
	SSP5-8.5	۱۰	۱۱	۹
دوره پایه		۱۲	۹	۹

نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر برای پیش‌بینی خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی از مدل GCM مربوط به داده‌های گزارش ششم IPCC شامل (BCC-ESM2-MR)، (MIROC6)، (CanESM5) و (MRI-ESM2-0)، تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شده است. همچنین به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی از روش BCSD استفاده گردید و پارامترهای اقلیمی برای دو دوره‌ی آتی برآورد گردید که نتایج نشان‌دهنده افزایش مقدار دمای بیشینه و کمینه در دوره‌های آتی نسبت به مشاهداتی می‌باشد. سپس به کمک شاخص SPI شدت خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۴۸ ماهه تعیین شد. مقادیر میانگین ۲۰ ساله‌ی این شاخص با مقیاس زمانی ۶ ماهه نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقادیر منفی است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که می‌توان در منطقه مورد مطالعه از مدل CAN استفاده نمود و برای دو دوره‌ی آتی، نتایج نشان می‌دهد که شاخص SPI با مقیاس زمانی ۴۸ ماهه شدت خشک‌سالی را بیشتر نشان می‌دهد و در این مقیاس زمانی سناریوی SSP5-8.5 نشان‌دهنده‌ی افزایش شدت خشک‌سالی می‌باشد و بنابراین در بدبینانه‌ترین حالت می‌توان از شاخص SPI چهل‌وهشت ماهه تحت سناریوی SSP5-8.5 استفاده نمود.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هرینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Waseem M, Park D H, Kim T W. 2016. Comprehensive climatological drought projection over South Korea under climate change. *Procedia engineering*, 154, 284-290.
2. Bagheri R, Mohammadi S. 2012. Investigation on spatial variations of drought using geostatistics in Kerman province over a thirty-year period (1970- 2000). 19(2), 283-296. doi: 10.22092/ijrdr.2012.103158
3. Hernández-Vásquez C. C, Ibáñez-Castillo L. A, Gómez-Díaz J D, Arteaga-Ramírez R. 2020. Analysis of meteorological droughts in the

- Sonora River Basin, Mexico. *Atmósfera*.
4. Heim Jr R R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166.
 5. Mostafazadeh R, Shahabi M, Zabihi M. 2015. Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. *Geographical Planning of Space*, 5(17), 129-140.
 6. Naserzadeh MH, Ahmadi E. 2013. Investigating the performance of meteorological drought indicators in assessing drought and its zoning in Qazvin province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*; 12 (27), 141-162.
 7. Montaseri M, Nourjoo A, Behmanesh J, Akbari M. 1397. Investigation of wet season and meteorological drought in the southern basins of Lake Urmia (Case study: Zarrineh and Siminehroud catchments). *Echo Hydrology*, 5 (1), 189-202.
 8. Shahkarami N, MasahBavani AR. 2008. Uncertainty Analysis of Paired Oceans-Atmosphere-General Atmospheric Circulation Models on Temperature and Rainfall Climate Change Scenarios in Zayandehrud Basin. *Technical workshop on the effects of climate change on water resources management*
 9. McKee T B, Doesken N J, Kleist J. 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
 10. Morid S, Smakhtin V, Moghaddasi M. 2006: Comparison Of Seven Meteorological Indices For Drought Monitoring In Iran. *Int. J. Climatol*, Volume 26, Issue 7, Pp. 971–985
 11. Huang Y F, Ang J T, Tiong Y J, Mirzaei M, Amin M Z M. 2016. Drought forecasting using SPI and EDI under RCP-8.5 climate change scenarios for Langat River Basin, Malaysia. *Procedia Engineering*, 154, 710-717.
 12. Hashemi-Ana SK, Khosravi M, Tavousi T, Nazaripour H. Validation of AOGCMs capabilities for simulation length of dry spells under the climate change and uncertainty in Iran. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data*. 2017; 26(103): 43-58.
 13. LI X X, Hui J U, Sarah G, YAN C R, Batchelor W D, Qin L I U. 2017. Spatiotemporal variation of drought characteristics in the Huang-Huai-Hai Plain, China under the climate change scenario. *Journal of integrative agriculture*, 16(10), 2308-2322.
 14. Yaghoubzadeh M, Ahmadi M, Seyed Kaboli H, Zamani G, Amirabadizadeh M. 2017. The evaluation of Effect of Climate Change on Agricultural Drought Using ETDI and SPI Indexes. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), 43-61
 15. Hernández-Vásquez C. C, Ibáñez-Castillo L. A, Gómez-Díaz J D, Arteaga-Ramírez R. 2020. Analysis of meteorological droughts in the Sonora River Basin, Mexico. *Atmósfera*.
 16. Saharwardi M S, Mahadeo A S, Kumar P. 2021. Understanding drought dynamics and variability over Bundelkhand region. *Journal of Earth System Science*, 130(3), 1-16.
 17. Noguera I, Domínguez-Castro F, Vicente-Serrano S M. 2021. Flash Drought Response to Precipitation and Atmospheric Evaporative

- Demand in Spain. *Atmosphere*, 12(2), 165.
18. Aadhar S, Mishra V. 2020. On the projected decline in droughts over South Asia in CMIP6 multimodel ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(20), e2020JD033587.
 19. Wang T, Tu X, Singh V P, Chen X, Lin K. 2021. Global data assessment and analysis of drought characteristics based on CMIP6. *Journal of Hydrology*, 596, 126091.
 20. Chiang F, Mazdiyasn O, AghaKouchak A. 2021. Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature communications*, 12(1), 1-10.
 21. Song Z, Xia J, She D, Li L, Hu C, Hong S. 2021. Assessment of meteorological drought change in the 21st century based on CMIP6 multi-model ensemble projections over mainland China. *Journal of Hydrology*, 601, 126643.
 22. Meresa H, Murphy C, Fealy R. 2021, April. Climate change impact on the hydrometeorological drought propagation. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-8285).
 23. Ayugi B, Shilenje Z W, Babaousmail H, Sian K. T. L. K, Mumo R, Dike V. N, Ongoma V. 2021. Projected Changes in Meteorological Drought Over East Africa Inferred from Bias-Adjusted CMIP6 Models.
 24. Ashofteh P, Massah A. 2010. Impact of Climate Change Uncertainty on Temperature and Precipitation of Aidoghmoush Basin in 2040-2069 Period. *Water and Soil Science*, 19(2), 85-98.
 25. Hewitson B. C, Crane R G. 1996. Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, 7(2), 85-95.
 26. Jafarzadeh A, Pourreza-Bilondi M, Afshar A A, Khashei-Siuki A, Yaghoobzadeh M. 2019. Estimating the reliability of a rainwater catchment system using the output data of general circulation models for the future period (case study: Birjand City, Iran). *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3), 1975-1986.
 27. Poodineh MR, Heidarinia M, Moosavi SR, Doostimoghadam H. 2020. Monitoring drought indicators in Zahedan in different periods. *Geography Quarterly*, 13(47), 133-143.
 28. Yaghoobzadeh M, Amirabadizadeh M, khozaymehnezhad H, zeraatkar Z. 2018. The evaluation of the three downscaling methods in Meteorological droughts forecasting under the effects of climate change. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(2), 323-334.
 29. Nasiri MA, Jabbari S, Bustani F, Shamsnia SA. 2009. Drought Analysis and Monitoring Using Standardized Precipitation Index (SPI) Case Study: Marvdasht County, National Conference on Water Crisis Management, Marvdasht University.
 30. Hosseinabadi S, Yaghoobzadeh M, Amirabadizadeh M, Foroozanmehr M. 2020. Meteorological Drought Assessment in Future Periods by Using of the Data of the Fifth Report of Climate Change (Case Study: Zabol and Shiraz Cities). *Arid Regions Geographic Studies*. 10 (40) :78-87