



## Investigation of Climate Change Projection on Temperature and Precipitation Parameters Using CMIP6 Models (Case Study: Birjand Station)

Fariba Niroumand fard<sup>1</sup>, Abbas Khashei Sivaki<sup>2✉</sup>, Reza Hashemi<sup>3</sup>, Khalil Ghorbani<sup>4</sup>

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, Email: [niroumandfardfariba@birjand.ac.ir](mailto:niroumandfardfariba@birjand.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, Email: [abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)
3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, Email: [srhashemi@birjand.ac.ir](mailto:srhashemi@birjand.ac.ir)
4. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: [ghorbani.khalil@gau.ac.ir](mailto:ghorbani.khalil@gau.ac.ir)

---

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** June. 1, 2022

**Revised:** Aug. 31, 2022

**Accepted:** Sep. 26, 2022

**Published online:** Nov. 22, 2022

**Keywords:**

Climate change,  
Emission Scenario,  
Downscaling,  
CMIP6,  
Cmhyd.

---

### ABSTRACT

Today, changing temperature and precipitation parameters are the major challenges of water resources. In this study, meteorological data of Birjand station have been used. Data on minimum daily temperature and maximum daily temperature and daily precipitation values of Birjand station during the years 1990 to 2014 were prepared as baseline data from Birjand regional water and then arranged. three models of IPSL-CM6A-LR, MIROC-ES2L, and MRI-ESM2-0 from the set of sixth report models (CMIP6) were used to evaluate the Projection of the effect of climate change on the maximum and minimum temperature and precipitation parameters. Using correlation coefficient (R), root mean square error (RMSE), and Kling-Gupta (KGE) evaluation tests, the MIROC-ES2L model was selected as the most suitable model, and using the latest diffusion scenarios that have been introduced as Socio-Economic Trajectory (SSP), the Projection of the effect of climate change on temperature and precipitation parameters of Birjand station was studied. To reduce the scale of the data, the CMhyd model was used and three scenarios, SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 (2022-2050), were used for the next period. Then, using Mann-Kendall test and Sen's Slope, the trend of observational data parameters was determined. In this testm each of the parameters of maximum temperature, minimum temperature and precipitation in the observation period and the future, there is a significant trend in some months and some months do not have a significant trend. The results of this study showed that the maximum and minimum temperature changes in the next period (2022-2050) compared to the observational data have an increasing trend and the precipitation parameter has a sinusoidal trend and is increasing in some months and decreasing in some months, but In general, It can be said that the average total monthly precipitation is increasing in the future under all three scenarios for the MIROC-ES2L model.

---

Cite this article: Niroumand fard, F., Khashei Sivaki, A., Hashemi, R., Ghorbani, Kh. (2022) Investigation of Climate Change Projection on Temperature and Precipitation Parameters Using CMIP6 Models (Case Study: Birjand Station), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.343936.669284>, 53 (9), 2009-2026.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.343936.669284>



## بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه بیرجند)

فریبا نیرومندفرد<sup>۱</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۲</sup>، سیدرضا هاشمی<sup>۳</sup>، خلیل قربانی<sup>۴</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ایمیل: [niroumandfardfariba@birjand.ac.ir](mailto:niroumandfardfariba@birjand.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ایمیل: [abbaskhashei@birjand.ac.ir](mailto:abbaskhashei@birjand.ac.ir)

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ایمیل: [srhashemi@birjand.ac.ir](mailto:srhashemi@birjand.ac.ir)

۴. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، ایمیل: [ghorbani.khalil@gu.ac.ir](mailto:ghorbani.khalil@gu.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

امروزه تغییر پارامترهای دما و بارش یکی از چالش‌های مهم منابع آب محسوب می‌شود. دلیل این امر این است که این تغییرات باعث خشکسالی و یا سیلاب‌های شدید، کوتاه و بلند مدت در آینده می‌شوند. در این تحقیق از داده‌های هواشناسی ایستگاه بیرجند استفاده شده است. داده‌های دمای حداقل روزانه و دمای حداکثر روزانه و مقادیر بارش روزانه ایستگاه بیرجند در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی به عنوان داده‌های دوره پایه از آب منطقه‌ای بیرجند تهیه و سپس مرتب گردید. جهت بررسی چشم‌انداز اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای حداکثر و حداقل دما و بارش از سه مدل IPSL-CM6A-LR، MIROC-ES2L و MRI-ESM2-0 از مجموعه مدل‌های گزارش ششم (CMIP6) استفاده شد که با به کار بردن از آزمون‌های ارزیابی ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و کلینگ-گوپتا (KGE)، مدل MIROC-ES2L به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید و با استفاده از جدیدترین سناریوهای انتشار که به نام خط سیر اجتماعی-اقتصادی (SSP) معرفی شده است به بررسی چشم‌انداز اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش ایستگاه بیرجند پرداخته شد. جهت مقیاس‌کاهی داده‌ها از مدل CMHyd استفاده گردید و از سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نیز استفاده شد. در ادامه همچنین با به کار بردن آزمون من-کنندال و شیب سن روند پارامترهای داده‌های مشاهداتی مشخص گردید. در این آزمون هر کدام از پارامترهای دما، حداکثر، دمای حداقل و بارش در دوره مشاهداتی و آینده در بعضی از ماه‌ها روند معنی‌دار وجود دارد و بعضی ماه‌ها فاقد روند معنی‌دار می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان داد تغییرات دمای حداکثر و حداقل در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای روند افزایشی است و پارامتر بارش دارای روند سینوسی است و در برخی ماه‌ها افزایشی و در برخی کاهش‌ی است، اما به طور کلی می‌توان گفت میانگین مجموع بارش‌های ماهانه در آینده تحت هر سه سناریوی برای مدل MIROC-ES2L روند افزایشی دارد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۹/۱

### واژه‌های کلیدی:

تغییر اقلیم،

مقیاس‌کاهی،

سناریوی انتشار،

CMIP6،

CMHyd

استناد: نیرومندفرد؛ فریبا، خاشعی سیوکی؛ عباس، هاشمی؛ سیدرضا، قربانی؛ خلیل، (۱۴۰۱) بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه بیرجند)، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.343936.669284>، ۵۳ (۹)،

۲۰۲۶-۲۰۰۹.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.343936.669284>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

براساس گزارش IPCC تغییرات آب و هوایی چالشی برای جامعه بشری و محیط زیست می‌باشد (IPCC 2014). پژوهشگران اقلیمی بر این باورند که پدیده گرمایش زمین در حال رخ دادن است و پارامترهای اقلیمی دما و بارش تغییرات قابل توجهی در نقاط مختلف جهان تجربه می‌کنند (Azari et al., 2016). تغییرات آب و هوایی به عنوان یک پدیده است که با تغییر در الگوی آب و هوایی معرفی شده و در آینده ادامه خواهد داشت (de Oliveira et al., 2019). این تغییرات آب و هوایی می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر پارامترهای اقلیمی و در نهایت منابع آب و خاک را نیز تحت تأثیر قرار دهد (Op de Hipt et al., 2018, 2019). مدل‌های جهانی اقلیم (GCM)؛ معتبرترین مدل‌هایی هستند که در چشم‌انداز واکنش اقلیم جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرند (IPCC 2001). چشم‌انداز داده‌های این مدل‌ها برای سراسر کره زمین به صورت سه بعدی می‌باشد. به دلیل اینکه وضوح مکانی خروجی مدل‌های GCMs کم است استفاده از آن‌ها جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم در مقیاس محلی مناسب نمی‌باشد، بنابراین لازم است که خروجی این مدل‌ها برای مطالعات منطقه‌ای با استفاده از مدل‌ها یا روش‌های مناسب ریزمقیاس شوند.

فاز پنجم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت شده (CMIP5)؛ شامل بیش از ۴۰ مدل می‌باشد و در آن از سناریوهای انتشار به نام نماینده خط سیر غلظت (RCPs)؛ استفاده شده است که اطلاعات اقلیمی با ارزشی برای سیاست‌گذاران و جامعه علمی هستند (Chen and Sun., 2015). سناریوهای RCP براساس مقادیر واداشت تابشی (وات بر مترمربع) شامل ۴ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6، RCP4.5 و RCP6.0. RCP8.5 جهت چشم‌انداز متغیرهای اقلیمی در آینده می‌باشند و همچنین براساس آن‌ها متوسط افزایش دمای جهانی تا سال ۲۱۰۰ نسبت به ۳۰ سال گذشته به طور میانگین ۲ درجه سلسیوس پیش‌بینی شده است، (Van Vuuren et al., 2011).

فاز ششم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت شده (CMIP6)؛ شامل سناریوهای جدید سازماندهی شده از مدل‌های اقلیمی جهانی هستند که الگوی تکامل و ویژگی‌های سازماندهی فازهای قبلی (CMIP5) را ادامه داده و جهت شناخت مکانیسم‌های مختلف آب و هوا مورد طراحی قرار گرفته است (Eyring et al., 2016). مدل‌های موجود در CMIP6 وضوح بیشتری با بهبود فرآیندهای پویا را شامل شده و همچنین برای چشم‌انداز تغییر اقلیم آینده از سناریوهای انتشار مشترک اجتماعی و اقتصادی SSP/RCP؛ استفاده می‌کند (O'Neil et al., 2016). خروجی مدل‌های گزارش ششم براساس سناریوهای جدید خطوط سیر بخش‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی (SSPs) می‌باشند که غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) را ارائه می‌دهند. سناریوهایی که در گزارش ششم ارائه شدند شامل ۵ گروه هستند که بر شاخص‌های کمی جمعیت، شهرنشینی، سناریوهای تعمیم یافته (اثرات، سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری)، برنامه انرژی، تغییرات کاربری اراضی و توسعه اقتصادی منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای تأکید می‌کنند.

بنابراین موضوع تغییر پارامترهای اقلیمی اهمیت بررسی روند تغییر اقلیم را برای آگاهی از شرایط آینده جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی دو چندان می‌کند. لذا مطالعات مختلفی در زمینه بررسی وضعیت تغییر اقلیم بوسیله مدل‌های گردش کلی انجام شده است. (Fallah, 2019) در مطالعه خود به ارزیابی دمای آینده در ایران پرداختند. در این مطالعه از سه مدل CanESM2، GFDL-ESM2M و MPI-ESM-LR استفاده کردند و برای چشم‌انداز دمای حداقل و حداکثر از دو روش ریزمقیاس‌کاهی آماری SDSM و MarkSimGCM و روش مکانیکی CORDEX استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد بیشترین تغییرات افزایشی دمای حداقل و حداکثر در ایران تحت سناریوی RCP8.5 در دوره‌های زمانی ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ می‌باشد. (Abbasian et al., 2019). با استفاده از ۳۷ مدل عملکرد مدل‌های کلی (GCM) را برای چشم‌انداز پارامترهای دما و بارش مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی نشان داد MRI-CGCM3 عملکرد خوبی برای بارش و مدل CMCC-CMS نیز عملکرد بهتری برای پارامتر دما دارد. (Nilawar et al., 2019) در تحقیق خود به بررسی تأثیر تغییر اقلیم در حوضه رودخانه Purna تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در چهار دوره آینده پرداختند. آن‌ها نشان دادند در هر دو دوره پارامتر بارش روند افزایشی قابل توجهی را به همراه دارد. (Ahmadi et al., 2019). در مطالعه‌ای در حوضه آبخیز Kan در ایران داده‌های مدل CanESM2 را تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از مدل SDSM ریزمقیاس کردند. نتایج این مطالعه نشان

- 1- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 2- General Circulation Models
- 3- Coupled Model Intercomparison Project-Phase 5
- 4- Representative Concentration Pathway
- 5- Coupled Model Intercomparison Project-Phase 6
- 6- Shared Socioeconomic Pathways

می‌دهد در دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ میزان بارش دارای روند افزایشی است و دما نیز بین ۰/۸ تا ۵/۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. (Mekonnen and Disse, 2018) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل‌های گردش کلی ECHAM5-OM, GFDL-CM2.1, HadCM3, CCSM3, MRI-CGCM2.3.2 و CSIRO-MK3 و با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG به بررسی حوضه بالادست رودخانه نیل پرداختند. آن‌ها در این تحقیق نتیجه گرفتند که دمای حداقل و حداکثر و میانگین بارش برای دوره‌های آینده تحت اثر این شش مدل افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری توسط (Tayebian *et al.*, 2019) از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تحت سه سناریو انتشار A1B, A1 و A2 استفاده شد که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد میانگین بارش ماهانه در دوره آینده بین ۲۲- درصد تا ۲۲+ درصد متغیر است و همچنین میانگین دمای ماهانه بین ۰/۳ تا ۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. (Shagega *et al.*, 2020) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب تانزانیا در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۰ با استفاده از مدل HadCM3 تحت سناریوی انتشار SRES A2 پرداختند. نتایج نشان داد که حداقل و حداکثر دما افزایش یافته و میزان بارش بین ۱۲- تا ۳۷+ درصد در ماه‌های April, May, June و July افزایش داشته و در بقیه ماه‌ها بارش ۵۸- تا ۳+ درصد افزایش خواهد یافت. در مطالعه‌ای که توسط (Doulabian *et al.*, 2021) در ایران جهت بررسی اثر تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP مدل‌های GCM بر روی پارامترهای بارش و دما در آینده انجام شد نتایج نشان داد که دما در عموم مناطق کشور افزایش یافته است و مقادیر بارش نیز کاهش یافته است. همچنین در مطالعه دیگری که در ایران توسط (Goodarzi *et al.*, 2020) بر روی رفتار ورودی به سد سمیره در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل CanESM2 و تحت سناریوهای RCP با روش ریزمقیاس گاهی مدل SDSM انجام شد، نتایج نشان داد که تحت تأثیر تغییر اقلیم مقدار ورودی به سد سمیره بین ۵ تا ۱۳ درصد کاهش خواهد یافت. (Tsfaye Hordofa *et al.*, 2021) در تحقیق خود به تحلیل روند مکانی و زمانی دما و بارندگی بر روی حوضه دریاچه زیوی در اتیوپی پرداختند. در این مطالعه از سه مدل CNRM-CM5, MPI-ESM-LR و CSIRO-MIK3.6 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد که خروجی این مدل‌ها توسط مدل CMhyd ریزمقیاس نمایی شدند. نتایج این تحقیق نشان داد پارامتر بارش فاقد روند است اما پارامتر دما دارای روند افزایشی و قابل توجهی تحت هر دو سناریو می‌باشد و در نهایت تا پایان قرن بیست و یکم چشم‌انداز گرمایش تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 در بخش مرکزی حوضه رخ خواهد داد.

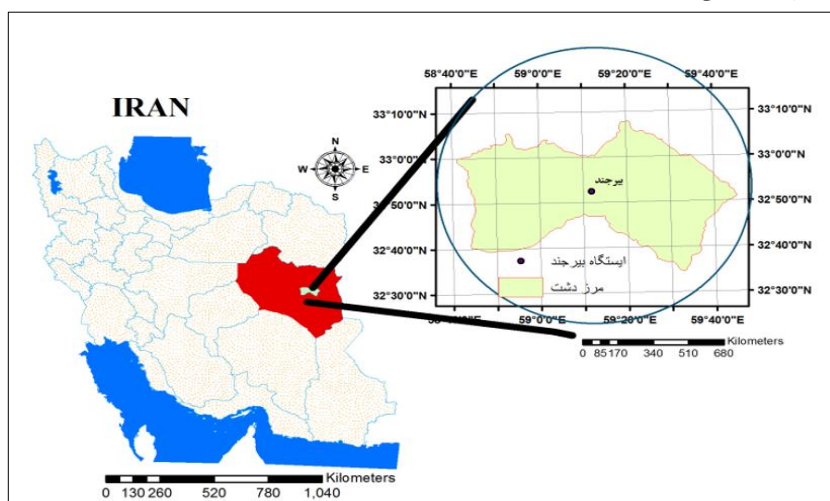
با توجه به پیشینه تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که اکثر مطالعات اقلیمی با هدف دستیابی به نحوه تغییرات آب و هوایی منطقه انجام شده است و همچنین اکثر این مطالعات با استفاده از خروجی مدل‌های سری سوم CMIP3 یا CMIP5 مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. لذا این تحقیق با هدف استفاده از جدیدترین مدل‌های سری ششم CMIP6 برای منطقه مورد نظر مورد سنجش و بررسی قرار می‌گیرد. دقت و وضوح مدل‌های مختلف GCM براساس مناطق مختلف یکسان نبوده، بنابراین برای دستیابی به بهترین مدل برای منطقه مورد بررسی، ضروری است تا مدل‌های مختلف نسبت به هم ارزیابی شوند. همچنین با توجه به این موضوع که رشد سریع جمعیت و صنعت، تأثیر متفاوتی بر نحوه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گذارند که باید هر چند سال سناریوهای جدید معرفی شوند و بر اساس آگاهی از آخرین اطلاعات موجود مطالعات و بررسی چگونگی تغییر اقلیم صورت گیرد. هدف از این تحقیق بررسی تغییر اقلیم ایستگاه بیرجند واقع در دشت بیرجند استان خراسان جنوبی، تحت سناریوهای ششم تدوین شده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC یعنی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دوره آینده ۲۰۲۲-۲۰۵۰ می‌باشد. با توجه به این امر که پدیده تغییر اقلیم از عوامل تشدید کننده کمبود منابع آب زیرزمینی در مناطقی است که تنها منبع تأمین کننده برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت هستند. بنابراین امید است نتایج این تحقیق برای مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب منابع آب زیرزمینی در دشت بیرجند مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در ایستگاه سینوپتیک بیرجند که در شهر و دشت بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی و در قسمت شمالی ارتفاعات باقران قرار گرفته است مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. شهر بیرجند در مختصات ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول جغرافیایی و در ارتفاعات ۱۴۵۰ متری از سطح آزاد دریا قرار دارد. بیرجند دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک با متوسط دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد و بارش متوسط سالانه ۱۷۱ میلی‌متر می‌باشد. در این مطالعه داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و

بارش روزانه طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۹۰ میلادی به عنوان دوره پایه که ایستگاه سینوپتیک بیرجند جمع‌آوری شده است، لحاظ گردید. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه بیرجند نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (Yaghoobzadeh et al., 2020)

#### داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های هواشناسی ایستگاه بیرجند استفاده شده است. داده‌های دمای حداقل روزانه و دمای حداکثر روزانه و مقادیر بارش روزانه ایستگاه بیرجند در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی به عنوان داده‌های دوره پایه از ایستگاه سینوپتیک بیرجند تهیه و سپس مرتب گردید. جهت بررسی تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه در مقیاس جهانی در این تحقیق از سه مدل گزارش ششم مدل‌های گردش کلی-اقیانوس استفاده گردید. در این بخش داده‌های اقلیمی مورد نیاز مدل‌های گزارش ششم از سایت (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6?tab=form>) بدست. همچنین این داده‌ها از سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دوره آینده ۲۰۵۰-۲۰۲۲ و داده‌های تاریخی مدل‌ها برای دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۰ بدست آمدند. فرمت این داده‌ها NC می‌باشد، که برای منطقه بیرجند ابتدا توسط کدنویسی در محیط نرم افزار R تبدیل به فایل‌های TEXT شدند و سپس با استفاده از این داده‌ها که به صورت ماهانه مرتب شدند میانگین ماهانه‌های داده‌های پایه ایستگاه بیرجند و تاریخی مدل‌ها طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۰ با استفاده از معیارهای ارزیابی R، RMSE و KGE مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند.

#### روش‌های آماری مورد استفاده

##### مدل‌های اقلیمی و معیارهای ارزیابی

از اهداف اصلی مدل‌های CMIP6 بررسی پیامدهای مدل‌های سازمان یافته، چگونگی واکنش ساختار زمین به نیروهای مختلف در مورد منشأ و کمی‌سازی تغییرات آب و هوایی و همچنین بررسی عدم قطعیت سناریوها می‌باشد. یکی از موارد بهبود مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 بهبود تعداد لایه‌های عمودی می‌باشد که چشم‌انداز دقیق‌تری در استراتوسفر دارند و همچنین تعداد سناریوهای دوره‌های آینده گسترش قابل توجهی یافته است (Su et al., 2020, Gupta et al., 2020).

در این تحقیق ابتدا از ۸ مدل گزارش ششم خروجی گرفته شد و با انجام فرآیند معیارهای ارزیابی سه مدل که دارای عملکرد مناسب‌تری بودند انتخاب گردید و در نهایت از بین این سه مدل یک مدل که بهترین عملکرد را در تمامی معیارهای ارزیابی داشت به عنوان مدل برتر انتخاب نموده و در نهایت سناریوهای آینده برای این مدل در نظر گرفته شد که در ادامه ارائه شده است. بنابراین مدل‌های استفاده شده در این تحقیق MIROC-ES2L، IPSL-CM6A-LR و MRI-ESM2-0 می‌باشند که داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و داده‌های بارش آن‌ها در دسترس بوده و اطلاعات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. این مدل‌ها از سایت <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cmip6?tab=form> دانلود شده‌اند و یکی از مزیت‌های این سایت برای دانلود مدل‌ها این است که می‌توان دوره زمانی مورد نظر را به صورت یکپارچه و در یک فایل و بصورت منسجم دانلود کرد. دوره

تاریخی این مدل‌ها از سال ۱۹۹۰-۲۰۱۴ به مدت ۲۵ سال تهیه شد به دلیل اینکه دوره تاریخی مدل‌های CMIP6 در این بازه می‌باشد و همچنین برای ایستگاه موردنظر این تحقیق (ایستگاه بیرجند) نیز این دوره آمار داده‌ها موجود بود. در این تحقیق از سه سناریوی خوشبینانه (SSP1-2.6)، متوسط (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) استفاده شده است که ویژگی‌های آن‌ها در جدول (۲) به اختصار ارائه شده است. برای ارزیابی داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش مدل‌های انتخاب شده CMIP6 از ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و کلینگ-گوپتا (KGE) استفاده شد که در روابط ۱ و ۲ نشان داده شده است. از معیار RMSE برای ارزیابی دقت پیش‌بینی یک مدل با داده‌های مشاهداتی استفاده می‌گردد (Raziei and Sotoudeh, 2017). معیار KGE برای خروجی‌هایی که به صفر نزدیک‌تر هستند بیانگر چشم انداز خطای کمتر در داده‌ها است و این معیار از سنج‌های مرسوم در برآورد خطا می‌باشد. از این معیارهای ارزیابی جهت بررسی و ارزیابی عملکرد مدل‌ها استفاده می‌شود تا شباهت داده‌های چشم‌انداز و داده‌های مشاهداتی را نسبت به هم مورد مقایسه قرار دهد (Gupta et al, 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در روابط بالا  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب مقادیر چشم‌انداز توسط مدل و مشاهداتی می‌باشد و  $n$  نیز تعداد داده‌های ورودی است. منظور از  $sim$  و  $obs$  به ترتیب مقادیر چشم‌انداز مدل و مشاهداتی است.  $\sigma$  انحراف معیار،  $\mu$  میانگین و  $r$  همبستگی خطی بین داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده است. با استفاده از این معیارها داده‌های دوره پایه هر سه مدل که داده‌های تاریخی هم نام دارند با داده‌های پایه مشاهداتی ایستگاه بیرجند مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت.

#### بررسی شیب روند پارامترهای دما و بارش با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک Mann-Kendall & Sen's Slope

معمولاً جهت ارزیابی روند یکنواختی سری زمانی داده‌های دما و بارش از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده می‌گردد در آزمون من-کندال فرض  $H_0$  بیانگر عدم روند در داده‌ها و فرض  $H_1$  نیز بیانگر وجود روند در داده‌های سری زمانی می‌باشد (Mann, 1945; Bagherpour et al., 2017). برای اندازه‌گیری روند در آزمون من-کندال از آماره استاندارد  $Z$  که از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک پیروی می‌کند استفاده می‌گردد. در بررسی روند اگر  $|Z|$  بزرگتر از  $Z_{crit}$  باشد ( $Z_{crit} = 1.00 \times (1 - \alpha/2)$ )، مقدار آماره از توزیع نرمال استاندارد در سطح اطمینان  $\alpha$  انتخاب می‌شود در نتیجه فرض صفر در این حالت رد می‌گردد و روند معنی داری در سری زمانی داده‌ها وجود نخواهد داشت (به عنوان مثال در سطح آماره ۵٪،  $Z_{5\%} = \pm 1.96$ ). در آزمون من-کندال مقدار مثبت  $Z$  بیانگر روند صعودی و مقدار منفی آن بیانگر روند نزولی سری زمانی داده‌ها می‌باشد (Liu et al 2014; Maghrabi and Alotaibi 2018). روش ناپارامتریک سنس جهت برآورد شیب واقعی روند در سری زمانی کاربرد دارد (Yue and Hashino, 2003) و مانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک تفاوت بین مشاهدات سری زمانی را ارزیابی می‌کند و زمانی از این روش می‌توان استفاده کرد که روند موجود در سری زمانی خطی است (El- et al., 2010). Nesr در روش سنس اگر مقدار  $Q_i$  مثبت باشد نشان دهنده روند افزایشی و اگر منفی باشد نشان دهنده روند کاهشی نیز است. در این تحقیق برای تعیین روند و بزرگی شیب خط روند به ترتیب از روش من-کندال و روش تخمین گر شیب سن بهره گرفته شد که محاسبات مربوط به این دو روش با استفاده از برنامه XLSTAT انجام شده است.

جدول ۱- لیستی از مدل‌های CMIP6 که در این مطالعه استفاده شده است

نام مدل	نام مؤسس	سناریوهای شبیه‌سازی	وضوح افقی
IPSL-CM6A-LR	Institute Pierre-Simon Laplace (IPSL), France مؤسسه پیرسیمون لاپلاس (IPSL)، فرانسه	SSP1-2.6 SSP2-4.5 SSP5-8.5	۲۵۰ کیلومتر
MIROC-ES2L	Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC), Japan	SSP1-2.6 SSP2-4.5	۲۵۰ کیلومتر

1- Regression

2- Root-mean-square deviation

3- Kling-Gupta Efficiency

سناریوی SSP	2 SSP	SSP1	سناریوی SSP تکنولوژی
SSP5-8.5	متوسط، نامساعد	سریع	توسعه
SSP1-2.6	متوسط	کم	شدت کربن
SSP2-4.5	مقداری سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر اما اتکای مداوم به سوخت های فسیلی	به دور از سوخت های فسیلی، به سمت بهره وری و انرژی های تجدید پذیر	تغییر فناوری انرژی
SSP5-8.5	نسبتا ضعیف	تاثیر گذار	سیاست ها و نهادها
جدول ۲- ویژگی سناریوهایی که در این مطالعه استفاده شده است (O'Neill et al., 2017)			همکاری بین المللی
SSP5	نگرانی برای آلاینده‌های محلی اما موفقیت متوسط در اجرا	بهبود مدیریت مسائل محلی و جهانی؛ مقررات سختگیرانه آلاینده‌ها	سیاست زیست‌محیطی
سریع	تمرکز ضعیف بر پایداری	به سوی توسعه پایدار	جهت‌گیری سیاست
زیاد			محیط زیست و منابع طبیعی
هدایت به سمت سوخت های فسیلی؛ منابع جایگزین به طور فعال دنبال نمی شوند	ادامه تخریب	بهبود شرایط در طول زمان	محیط زیست
موثر در تعقیب اهداف توسعه، محدودتر برای envt. اهداف	مقررات متوسط منجر به کاهش آهسته در نرخ جنگل زدایی می شود	مقررات قوی برای جلوگیری از مبادلات زیست محیطی	کاربری زمین
تمرکز بر محیط محلی با مزایای آشکار برای رفاه، کمی نگرانی با مشکلات جهانی	سرعت متوسط تغییر فناوری در بخش کشاورزی؛ موانع ورود به بازارهای کشاورزی به آرامی کاهش یافت	بهبود در بهره وری کشاورزی؛ انتشار سریع بهترین شیوه‌ها	کشاورزی
به سوی توسعه، بازار آزاد، سرمایه انسانی			

### مقیاس کاهی با استفاده از مدل CMhyd

در سیستم‌های هیدرولوژیکی جهت ارزیابی اقلیم‌های جهانی پیش‌بینی شده از روش‌ها و مدل‌های مقیاس کاهی مختلفی استفاده می‌گردد. در این تحقیق از مدل مقیاس کاهی (Climate Model data for hydrologic modeling) CMhyd برای پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش استفاده گردید. نرم افزار CMhyd دارای هشت روش مختلف مقیاس کاهی برای پارامترهای دما و بارش است و اجرای سریع روش‌های منتخب می‌تواند به عنوان مدلی کارا برای مقیاس کاهی برون‌داد مدل‌های سری CMIP6 به کار رود. برخی از روش‌های موجود در این نرم افزار برای مقیاس کاهی بارش یا دما مناسب نیستند که لازم است در هنگام انتخاب روش مقیاس کاهی، روش‌های مناسب با توجه به هدف مقیاس کاهی انتخاب گردد. داده‌های دیدبانی، داده‌های دوره گذشته مدل اقلیمی (هیستوریکال) و داده‌های سناریوی (آینده) مدل‌های اقلیمی سه نوع داده ورودی به این نرم افزار می‌باشند. داده‌های مدل اقلیمی در دو فرمت NetCDF<sup>۱</sup> و متنی ASCII<sup>۲</sup> می‌تواند به مدل CMhyd معرفی گردند و این مدل داده‌ها را تا سطح ایستگاه مقیاس کاهی می‌کند. در این تحقیق جهت مقیاس کاهی با مدل مذکور داده‌های مدل‌های اقلیمی (هیستوریکال) و داده‌های سناریو (آینده) و همچنین داده‌های مشاهداتی به صورت متنی و به صورت روزانه به مدل داده شدند و با استفاده از روش Linear Scaling مقیاس کاهی بر روی داده‌ها انجام گرفت. خروجی مدل CMhyd در محیط نرم افزار Excel به صورت ماهانه تبدیل گردید و محاسبات مربوط به معیارهای ارزیابی انجام شد و در نهایت مدلی که دارای بهترین

۱- Network Common Data Form

2- American Standard Code for Information Interchange

عملکرد است انتخاب نموده و محاسبات و تحلیل شرایط منطقه مورد مطالعه در آینده تحت تأثیر مدل انتخابی نیز صورت گرفت.

## نتایج و بحث

ابتدا برای تعیین بهترین مدل در منطقه مورد مطالعه، برونداد تاریخی مدل‌های IPSL-CM6A-LR، MIROC-ES2L و MRI-ESM2-0 نسبت به داده‌های مشاهداتی با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و کلینگ-گوپتا (KGE) برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه آماری و انتخاب بهترین مدل از مدل‌های گردش کلی

مدل‌های AOGCM			معیارهای ارزیابی
بارش			پارامتر
IPSL-CM6A-LR	MIROC-ES2L	MRI-ESM2-0	
۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۵۲	R
۱۸/۴۱	۱۷/۱۴	۱۷/۹۰	RMSE
۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۵۲	KGE
دمای حداکثر			پارامتر
IPSL-CM6A-LR	MIROC-ES2L	MRI-ESM2-0	
۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۳	R
۲/۸۸	۲/۵۸	۳/۱۱	RMSE
۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۳	KGE
دمای حداقل			پارامتر
IPSL-CM6A-LR	MIROC-ES2L	MRI-ESM2-0	
۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۵	R
۲/۵۹	۲/۰۱	۲/۴۴	RMSE
۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۵	KGE

با توجه به نتایج جدول ۳، مشاهده می‌شود که مدل MIROC-ES2L در تمامی پارامترهای بارش، حداکثر دما و حداقل دما دارای کمترین میزان RMSE و همچنین بیشترین میزان R و KGE می‌باشد. در نتیجه مدل MIROC-ES2L در هر سه آزمون دارای عملکرد بهتری نسبت به دو مدل IPSL-CM6A-LR و MRI-ESM2-0 می‌باشد و دارای توانمندی بیشتری در شبیه‌سازی بارش و دمای مشاهداتی منطقه مورد مطالعه است. لذا این مدل به دلیل برتری در عملکرد نسبت به دو مدل دیگر، برای بررسی و تحلیل تغییرات آب و هوایی منطقه مورد مطالعه در آینده تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 انتخاب گردید. بنابراین در این تحقیق مقیاس‌کاهی داده‌های خروجی مدل MIROC-ES2L با استفاده از مدل CMhyd (Climate Model data for hydrologic modeling) برای پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش تحت سه سناریو مذکور برای دوره (۲۰۲۲-۲۰۵۰) انجام گردید.

### آزمون ناپارامتریک Mann-Kendall & Sen's Slope

در جدول ۴ نتایج آزمون ناپارامتریک من-کندال و شیب سن پارامترهای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره مشاهداتی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ نشان داده شده است. برای پارامتر بارش براساس نتایج من-کندال در دو ماه آبان در سطح معناداری ۹۵ درصد و در ماه دی در سطح معناداری ۹۹ درصد دارای روند هستند و در بقیه ماه‌ها عدم وجود روند و تایید فرض  $H_0$  مشاهده می‌گردد. پارامتر دمای حداکثر در دو ماه فروردین و مهر در سطح ۹۵ درصد و در ماه اسفند در سطح ۹۹ درصد دارای روند بوده و در بقیه ماه‌ها فرض  $H_0$  تایید شده است. برای پارامتر دمای حداقل دو ماه اردیبهشت و مهر در سطح معنی داری ۹۵ درصد دارای روند و در بقیه ماه‌ها بدون روند هستند.

### سناریوی SSP1-2.6

نتایج چشم‌انداز مقادیر دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش داده‌های مشاهداتی ایستگاه بیرجند در دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۴ و داده‌های خروجی مدل MIROC-ES2L تحت سناریوی SSP1-2.6 در جدول ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود مقادیر میانگین تغییرات ماهانه دمای حداکثر دارای روند افزایشی است. در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ بیشترین چشم‌انداز افزایش دما مربوط به



ماه تیر به میزان ۲/۸۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود میانگین تغییرات دمای حداکثر در فصل تابستان (تیر، مرداد و شهریور) نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر می‌باشد. براساس جدول ۷ داده‌های دمای حداقل تحت سناریوی SSP1-2.6 در سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ نسبت به دوره مشاهداتی بیشترین افزایش دما را در ماه تیر به میزان ۱/۹۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در فصل تابستان (تیر، مرداد و شهریور) بیشترین تغییرات دمای حداقل نسبت به فصل‌های دیگر بدست آمده است. برای چشم‌انداز داده‌های بارش تحت سناریوی SSP1-2.6 در جدول ۷ مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش بارش در ماه اسفند به میزان ۸/۹۰ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهداتی می‌باشد. در بررسی روند معنی‌داری داده‌های دما و بارش براساس مقادیر p-value در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ توسط مدل MIROC-ES2L تحت سناریوی SSP1-2.6 در جدول ۵، ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که مقادیر دمای حداکثر در دوره آینده در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌داری می‌باشند. مقادیر دمای حداقل در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، مرداد شهریور در سطح ۹۵ درصد و در ماه تیر در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری هستند. داده‌های بارش تنها در ماه اسفند در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد چشم‌انداز مقادیر بارش آینده نسبت به دوره مشاهداتی در فصل زمستان (دی، بهمن و اسفند) و ماه‌های شهریور و مهر دارای روند افزایشی است و در بقیه ماه‌ها میزان بارش کاهش یافته است.

جدول ۴- نتایج آزمون‌های من-کندال و شیب سن برای داده‌های اقلیمی در دوره مشاهداتی

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
Z	-۰/۰۹۷	۰/۳۲۲	-۰/۱۴۱	-۰/۴۲	-۰/۱۰۷	-۰/۲۴۷	-۰/۰۶۳	۰/۰۷۸	-۰/۰۳۶	۰/۰۴۲	۰/۲۵۹	-۰/۲۱۵
بارش	۰/۰۰۰	۰/۴۵۲	-۰/۵۰۳	-۰/۷۶۲	-۰/۴۸۱	-۱/۱۲۷	-۰/۱۴۱	۰/۰۴۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Trend	**	***										
Z	۰/۳۲۷	-۰/۲۳۰	۰/۰۹۳	۰/۲۲۰	۰/۱۶۷	۰/۴۶۰	۰/۳۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۷	۰/۲۰۰	-۰/۰۴۰	-۰/۱۰۰
Q	۰/۱۲۳	-۰/۰۷۳	۰/۰۲۲	۰/۰۸۶	۰/۰۷۱	۰/۲۱۶	۰/۱۳۳	۰/۰۹۸	۰/۰۵۱	۰/۰۵۸	-۰/۰۰۴	-۰/۰۲۸
Trend	**					***	**					
Z	۰/۳۱۳	۰/۱۰۷	-۰/۲۲۰	-۰/۱۵۰	۰/۰۳۳	۰/۲۳۳	۰/۲۱۳	۰/۲۸۷	۰/۲۰۰	۰/۱۳۳	۰/۰۰۷	۰/۲۲۰
Q	۰/۱۳۲	۰/۰۳۶	-۰/۱۱۸	-۰/۰۴۸۰	۰/۰۱۶	۰/۰۷۸	۰/۰۵۵	۰/۰۸۷	۰/۰۴۳	۰/۰۳۳	۰/۰۰۲	۰/۰۵۳
Trend	**							**				

\*\* معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* معنی داری روند در سطح ۹۹٪

جدول ۵- مقایسه میانگین ماهانه حداکثر دما در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP1-2.6

ماه	دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	SSP1-2.6 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	SSP1-2.6 p-value	SSP1-2.6 Z	SSP1-2.6 Q
مهر	۲۶/۴۰	۲۷/۱۴	۰/۰۶۴	۰/۲۴۱	۰/۰۸۶
آبان	۱۹/۴۰	۲۱/۴۱	۰/۴۹۸	۰/۰۹۰	۰/۰۲۴
آذر	۱۳/۸۹	۱۵/۴۲	۰/۳۰۱	۰/۱۳۶	۰/۰۴۶
دی	۱۰/۸۷	۱۱/۷۶	۰/۱۴۳	۰/۱۹۱	۰/۰۹۴
بهمن	۱۳/۴۸	۱۴/۰۶	۰/۱۰۱	۰/۲۱۴	۰/۰۵۶
اسفند	۱۸/۷۰	۱۹/۳۰	۰/۰۵۹	۰/۲۴۶	۰/۰۸۵
فروردین	۲۴/۹۹	۲۶/۹۲	۰/۰۶۴	۰/۲۴۱	۰/۰۹۱
اردیبهشت	۳۰/۶۲	۳۱/۸۲	۰/۰۵۹	۰/۲۴۶	۰/۱۱۱
خرداد	۳۴/۸۵	۳۶/۱۴	۰/۲۱۲	۰/۱۶۳	۰/۰۵۶
تیر	۳۵/۶۷	۳۸/۵۱	**/۰/۰۱۰	۰/۳۳۳	۰/۱۱۱
مرداد	۳۴/۶۴	۳۶/۷۸	**/۰/۰۱۷	۰/۳۱۰	۰/۰۸۷
شهریور	۳۱/۷۴	۳۳/۴۴	**/۰/۰۱۷	۰/۳۱۰	۰/۰۹۹



\*\*\*: معنی داری روند در سطح ۹۹٪ \*\* : معنی داری روند در سطح ۹۵٪

جدول ۶- مقایسه میانگین ماهانه حداقل دما در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP1-2.6

دمای حداقل					دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	ماه
SSP1-2.6 Q	SSP1-2.6 Z	SSP1-2.6 p-value	SSP1-2.6 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	SSP1-2.6 p-value		
۰/۰۳۸	۰/۱۶۳	۰/۲۱۲	۸/۳۵	۷/۴۳	مهر	
-۰/۰۰۲	-۰/۰۲۱	۰/۸۸۷	۴/۲۴	۲/۵۸	آبان	
۰/۰۴۳	۰/۲۰۰	۰/۱۲۵	-۰/۵۶	-۱/۴۳	آذر	
۰/۰۲۵	۰/۱۱۳	۰/۳۹۲	-۱/۸۲	-۲/۶۰	دی	
۰/۰۱۸	۰/۰۷۱	۰/۵۹۲	۰/۵۹	۰/۰۷	بهمن	
-۰/۰۰۴	-۰/۰۱۶	۰/۹۱۵	۴/۹۶	۴/۲۹	اسفند	
۰/۰۵۱	۰/۲۷۴	**۰/۰۳۵	۱۱/۴۸	۹/۸۲	فروردین	
۰/۰۸۰	۰/۲۶۹	**۰/۰۳۸	۱۵/۱۹	۱۴/۲۴	اردیبهشت	
۰/۰۳۵	۰/۱۴۰	۰/۲۸۴	۱۸/۹۹	۱۸/۲۲	خرداد	
۰/۰۷۷	۰/۳۷۹	***۰/۰۰۳	۲۱/۶۵	۱۹/۶۹	تیر	
۰/۰۴۸	۰/۲۹۷	**۰/۰۲۲	۱۸/۸۹	۱۷/۳۰	مرداد	
۰/۰۶۵	۰/۲۵۵	**۰/۰۵۰	۱۴/۱۸	۱۲/۳۵	شهریور	

\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۹٪

جدول ۷- مقایسه میانگین مجموع بارش‌های ماهانه در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP1-2.6

بارش					دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	ماه
SSP1-2.6 Q	SSP1-2.6 Z	SSP1-2.6 p-value	SSP1-2.6 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	SSP1-2.6 p-value		
۰/۰۲۵	۰/۰۷۴	۰/۵۸۰	۳/۳۴	۳/۲۴	مهر	
۰/۰۶۱	۰/۰۷۶	۰/۵۶۸	۵/۷۷	۵/۸۳	آبان	
۰/۲۵۸	۰/۱۴۵	۰/۸۶۹	۱۴/۹۴	۲۰/۰۳	آذر	
-۰/۴۸۱	-۰/۱۵۹	۰/۲۲۵	۳۵/۵۸	۲۷/۷۰	دی	
-۰/۳۷۹	-۰/۱۰۸	۰/۴۱۲	۳۴/۸۶	۳۳/۸۹	بهمن	
-۱/۱۸۰	-۰/۲۵۵	**۰/۰۵۰	۴۳/۹۵	۳۵/۰۵	اسفند	
-۰/۱۲۷	-۰/۰۹۴	۰/۴۷۵	۱۶/۸۵	۱۷/۳۳	فروردین	
-۰/۰۰۳	-۰/۰۲۱	۰/۸۸۶	۵/۰۹	۶/۳۸	اردیبهشت	
-۰/۰۰۳	-۰/۰۸۱	۰/۵۴۴	۰/۳۶	۰/۶۲	خرداد	
-۰/۰۰۱	-۰/۱۶۹	۰/۲۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	تیر	
-۰/۰۰۳	-۰/۰۹۳	۰/۴۸۶	۰/۳۵	۰/۴۸	مرداد	
-۰/۰۰۳	-۰/۰۴۱	۰/۷۶۲	۰/۷۹	۰/۴۹	شهریور	

\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۹٪

#### سناریوی SSP2-4.5

نتایج جدول ۸ چشم‌انداز داده‌های دمای حداکثر تحت سناریوی SSP2-4.5 نسبت به دوره مشاهداتی آورده شده است. مشاهده می‌شود خروجی مدل MIROC-ES2L برای داده‌های دمای حداکثر در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ برای ماه تیر به میزان ۱/۸۹ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین میزان تغییرات دمای حداکثر نسبت به دوره مشاهداتی می‌باشد. همچنین در دو فصل تابستان و پاییز نسبت به دو فصل زمستان و بهار مقادیر دما نیز افزایش بیشتری در دوره آینده نسبت به مشاهداتی دارند که به طور کلی می‌توان گفت روند تغییرات دمای حداکثر در آینده تحت سناریوی SSP2-4.5 افزایشی می‌باشد. داده‌های دمای حداقل در جدول ۹ نشان می‌دهد که بیشترین افزایش دما در ماه شهریور به میزان ۱/۷۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی بدست آمده است. روند تغییرات دمای حداقل در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۴ در فصل تابستان و پاییز بیشترین افزایش دما را داشته و به طور کلی روند تغییرات دمای حداقل در دوره آینده تحت سناریوی SSP2-4.5 صعودی می‌باشد. در جدول ۱۰ چشم‌انداز داده‌های بارش خروجی مدل MIROC-ES2L تحت سناریوی SSP2-4.5

در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ نسبت به دوره مشاهداتی در ماه دی به میزان ۱۰/۴۲ میلی‌متر دارای بیشترین تغییرات افزایش بارش می‌باشد. مشاهده می‌شود که در ماه‌های بهمن، اردیبهشت، تیر و آذر که تغییرات بارش دارای روند کاهشی است نتایج در سایر ماه‌ها دارای روند افزایشی بارش نسبت به دوره مشاهداتی می‌باشد. در بررسی روند معنی‌داری داده‌های دما و بارش براساس مقادیر p-value در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۲ توسط مدل MIROC-ES2L تحت سناریوی SSP2-4.5 در جدول ۸، ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود مقادیر دمای حداکثر در ماه‌های مهر و آبان در سطح ۹۵ درصد و در ماه مرداد در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری هستند و در بقیه ماه‌ها روند مشاهده نمی‌شود. در مقادیر دمای حداقل در ماه‌های مرداد و شهریور به ترتیب در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری هستند و بقیه ماه‌ها بدون روند می‌باشند و همچنین برای بارش در تنها در ماه تیر در سطح ۹۵ درصد روند معنی‌داری مشاهده می‌شود بقیه ماه‌ها بدون روند هستند.

جدول ۸- مقایسه میانگین ماهانه حداکثر دما در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP2-4.5

ماه	دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	SSP2-4.5 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	دمای حداکثر		
			SSP2-4.5 p-value	SSP2-4.5 Z	SSP2-4.5 Q
مهر	۲۶/۴۰	۳۷/۵۶	** / ۰.۱۴	- / ۰.۳۲۰	- / ۰.۹۴
آبان	۱۹/۴۰	۲۰/۷۲	** / ۰.۴۲	- / ۰.۲۶۴	- / ۰.۹۸
آذر	۱۳/۸۹	۱۵/۳۸	- / ۰.۸۷	- / ۰.۲۲۳	- / ۰.۶۶
دی	۱۰/۸۷	۱۱/۳۳	- / ۰.۳۹۲	- / ۰.۱۱۳	- / ۰.۴۴
بهمن	۱۳/۴۸	۱۴/۴۷	- / ۰.۶۱۷	- / ۰.۶۷	- / ۰.۱۹
اسفند	۱۸/۷۰	۱۹/۵۱	- / ۰.۱۰۸	- / ۰.۲۰۹	- / ۰.۷۲
فروردین	۲۴/۹۹	۲۵/۶۲	- / ۰.۲۳۹	- / ۰.۱۵۴	- / ۰.۷۰
اردیبهشت	۳۰/۶۲	۳۱/۱۰	- / ۰.۵۹۲	- / ۰.۷۱	- / ۰.۱۹
خرداد	۳۴/۸۵	۳۵/۱۹	- / ۰.۴۱۲	- / ۰.۱۰۸	- / ۰.۲۵
تیر	۳۵/۶۷	۳۷/۵۷	- / ۰.۸۸۷	- / ۰.۲۱	- / ۰.۰۸
مرداد	۳۴/۶۴	۳۶/۴۷	*** / ۰.۰۹	- / ۰.۳۳۸	- / ۰.۷۰
شهریور	۳۱/۷۴	۳۳/۳۱	- / ۰.۵۴	- / ۰.۲۵۱	- / ۰.۵۹

\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۹٪

جدول ۹- مقایسه میانگین ماهانه حداقل دما در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP2-4.5

ماه	دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	SSP2-4.5 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	دمای حداقل		
			SSP2-4.5 p-value	SSP2-4.5 Z	SSP2-4.5 Q
مهر	۷/۴۳	۸/۶۲	- / ۰.۴۱۲	- / ۰.۱۰۸	- / ۰.۱۷
آبان	۲/۵۸	۴/۲۳	- / ۰.۹۴	- / ۰.۲۱۸	- / ۰.۴۸
آذر	- / ۱/۴۳	- / ۰/۴۱	- / ۰.۱۱۶	- / ۰.۲۰۵	- / ۰.۵۴
دی	- / ۲/۶۰	- / ۱/۷۳	- / ۰.۵۶۸	- / ۰.۷۶	- / ۰.۱۹
بهمن	- / ۰/۷	- / ۰/۷۰	- / ۰.۶۹۵	- / ۰.۵۳	- / ۰.۱۳
اسفند	۴/۲۹	۵/۲۴	- / ۰.۸۰	- / ۰.۲۲۸	- / ۰.۶۹
فروردین	۹/۸۲	۱۰/۸۱	- / ۰.۳۴	- / ۰.۱۹۵	- / ۰.۴۹
اردیبهشت	۱۴/۲۴	۱۴/۹۰	- / ۰.۳۴	- / ۰.۱۹۵	- / ۰.۳۵
خرداد	۱۸/۲۲	۱۸/۳۴	- / ۰.۱۹۹	- / ۰.۱۶۸	- / ۰.۳۱
تیر	۱۹/۶۹	۲۰/۹۵	- / ۰.۷۲۲	- / ۰.۰۷	- / ۰.۰۴
مرداد	۱۷/۳۰	۱۸/۷۶	*** / ۰.۰۸	- / ۰.۳۴۳	- / ۰.۴۰
شهریور	۱۲/۳۵	۱۴/۰۷	** / ۰.۰۳۵	- / ۰.۲۷۴	- / ۰.۴۰

\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۹٪

جدول ۱۰- مقایسه میانگین مجموع بارش‌های ماهانه در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP2-4.5

ماه	دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	SSP2-4.5 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	بارش		
			SSP2-4.5 p-value	SSP2-4.5 Z	SSP2-4.5 Q
مهر	۳/۲۴	۳/۲۴	- / ۰.۵۸۰	- / ۰.۱۴۹	- / ۰.۵۴



۰/۰۴۵	۰/۰۵۷	۰/۰۵۶۸	۵/۷۷	۵/۸۳	آبان
۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۸۶۹	۱۴/۹۴	۲۰/۰۳	آذر
-۰/۵۰۸	-۰/۱۹۵	۰/۲۲۵	۳۵/۵۸	۲۷/۷۰	دی
-۰/۱۱۶	-۰/۰۳۴	۰/۴۱۲	۳۴/۸۶	۳۳/۸۹	بهمن
۰/۱۹۷	-۰/۰۳۹	**۰/۰۵۰	۴۳/۹۵	۳۵/۰۵	اسفند
-۰/۱۰۷	-۰/۰۶۲	۰/۴۷۵	۱۶/۸۵	۱۷/۳۳	فروردین
۰/۰۵۳	۰/۰۷۱	۰/۸۸۶	۵/۰۹	۶/۳۸	اردیبهشت
۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۵۴۴	۰/۳۶	۰/۶۲	خرداد
-۰/۰۰۲	-۰/۳۳۷	۰/۲۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	تیر
-۰/۰۰۱	-۰/۰۴۶	۰/۴۸۶	۰/۳۵	۰/۴۸	مرداد
-۰/۰۰۵	-۰/۰۶۴	۰/۷۶۲	۰/۷۹	۰/۴۹	شهریور

\*\*\* : معنی داری روند در سطح ۹۹٪

### سناریوی SSP5-8.5

نتایج جدول ۱۱ نشان می‌دهد که در سناریوی SSP5-8.5 که به عنوان سناریوی بدبینانه معرفی شده است تغییرات افزایش دما نسبت به دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP2-4.5 بیشتر است. در این سناریو روند افزایش دمای حداکثر در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی روند صعودی است و بیشترین میزان تغییرات دمای حداکثر در ماه مرداد به میزان ۲/۵۶ درجه سانتی‌گراد بدست آمده است. براساس جدول ۱۲ برای دمای حداقل تحت سناریوی بدبینانه مشابه دمای حداکثر، بیشترین میزان تغییر در ماه مرداد به میزان ۲/۰۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی نشان داده شده است و روند تغییرات دمای حداقل در آینده نسبت به دوره مشاهداتی افزایشی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد در هر دو پارامتر دمای حداکثر و دمای حداقل شاهد بیشترین تغییرات در فصل تابستان در دوره ۲۰۲۲-۲۰۲۵ نسبت به سایر فصل‌ها خواهیم بود. چشم‌انداز مقادیر بارش در جدول ۱۳ آورده شده است. مشاهده می‌شود مقادیر بارش خروجی مدل MIROC-ES2L تحت سناریوی SSP5-8.5 در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی در اکثر ماه‌ها دارای روند افزایشی است و بیشترین افزایش بارش در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ نسبت به دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۰ در ماه اسفند به میزان ۸/۳۱ میلی‌متر بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد به جز در ماه‌های بهمن، فروردین، اردیبهشت و آبان در سایر ماه‌ها روند بارش در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ افزایشی خواهد بود. همچنین در پژوهش (Roshani and Hamidi, 2020) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش با دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پرداختند که نتایج این تحقیق نشان داد تحت سناریوی SSP2-4.5 دمای حداکثر همانند مطالعه حاضر دارای روند افزایشی بوده و بیشترین افزایش دما مربوط به ماه آوریل به میزان ۲/۱۳ و ۳/۴۴ در دو دوره آینده ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ می‌باشد. میانگین تغییرات دمای حداقل نیز دارای روند افزایشی نسبت به دوره پایه می‌باشد که بیشترین میزان افزایش دمای حداقل مربوط به ماه آوریل به میزان ۲/۹۶ درجه سانتی‌گراد است. میزان بارش تحت سناریوی SSP2-4.5 در دهه ۲۰۵۰ نسبت به دهه ۲۰۹۰ دارای روند صعودی نیز بوده است. همچنین در این تحقیق نتایج تحت سناریوی SSP5-8.5 که به عنوان سناریوی بدبینانه شناخته شده است در تمام ماه‌های سال افزایش دمای حداقل و حداکثر نسبت به دوره پایه مشاهده شده است که میزان آن نسبت به سناریوی SSP2-4.5 نیز بیشتر بدست آمده است و طبق نتایج این تحقیق در هر دو سناریو افزایش بارش نسبت به دوره پایه مشاهده شده است. در بررسی روند معنی‌داری داده‌های دما و بارش براساس مقادیر p-value در دوره ۲۰۲۲-۲۰۵۰ توسط مدل MIROC-ES2L تحت سناریوی SSP5-8.5 در جدول ۱۱، ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود که در ماه‌های دی، بهمن، اسفند و خرداد در سطح ۹۵ درصد و در ماه‌های تیر و مرداد در سطح ۹۹ درصد روند معنی‌داری در مقادیر دمای حداکثر مشاهده می‌شود. مقادیر دمای حداقل در ماه‌های اسفند، فروردین و خرداد در سطح ۹۵ درصد و در ماه‌های مهر، آبان، تیر، مرداد و شهریور در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری هستند و مقادیر بارش در تمامی ماه‌ها بدون روند می‌باشند.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین ماهانه حداکثر دما در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP5-8.5

دمای حداکثر					ماه
SSP5-8.5 Q	SSP5-8.5 Z	SSP5-8.5 p-value	SSP5-8.5 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	
۰/۰۸۰	۰/۲۴۶	۰/۰۵۹	۲۷/۶۰	۲۶/۴۰	مهر
۰/۰۰۶	۰/۰۲۱	۰/۸۸۷	۲۰/۹۳	۱۹/۴۰	آبان
-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۷	۰/۹۷۲	۱۵/۴۹	۱۳/۸۹	آذر

دی	۱۰/۸۷	۱۲/۳۶	**./۰۰۱	-/۰۳۹	-/۰۱۲
بهمن	۱۳/۴۸	۱۴/۸۰	**./۰۴۲	-/۲۶۴	-/۰۹۱
اسفند	۱۸/۷۰	۲۰/۵۳	**./۰۳۵	-/۲۷۴	-/۱۴۲
فروردین	۲۴/۹۹	۲۶/۷۴	-/۴۱۲	-/۱۰۸	-/۰۴۸
اردیبهشت	۳۰/۶۲	۳۱/۸۴	-/۳۹۲	-/۱۱۳	-/۰۴۷
خرداد	۳۴/۸۵	۳۶/۱۸	**./۰۱۷	-/۳۱۰	-/۰۱۲۷
تیر	۳۵/۶۷	۳۷/۹۱	***./۰۰۷	-/۳۵۲	-/۰۸۷
مرداد	۳۴/۶۴	۳۷/۲۰	***./۰۰۱	-/۶۴۶	-/۱۳۸
شهریور	۳۱/۷۴	۳۳/۵۶	-/۰۱۲	-/۳۲۴	-/۰۷۸

\*\* معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* معنی داری روند در سطح ۹۹٪

جدول ۱۲- مقایسه میانگین ماهانه حداقل دما در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP5-8.5

ماه	دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	SSP5-8.5 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	دمای حداقل		
			SSP5-8.5 p-value	SSP5-8.5 Z	SSP5-8.5 Q
مهر	۷/۴۳	۸/۹۴	***./۰۰۳	-/۳۸۴	-/۱۰۰
آبان	۲/۵۸	۳/۹۲	-/۰۱۹	-/۳۰۶	-/۰۶۹
آذر	-۱/۴۳	-۰/۲۷	***./۰۰۹	-/۳۳۸	-/۰۸۲
دی	-۲/۶۰	-۱/۳۴	-/۴۷۵	-/۰۹۴	-/۰۱۷
بهمن	-/۰،۷	۰/۹۹	-/۶۴۳	-/۰۶۲	-/۰۱۹
اسفند	۴/۲۹	۵/۸۴	**./۰۱۰	-/۳۳۳	-/۰۹۹
فروردین	۹/۸۲	۱۱/۴۸	**./۰۲۲	-/۲۹۷	-/۰۶۷
اردیبهشت	۱۴/۲۴	۱۵/۴۸	-/۱۵۳	-/۱۸۶	-/۰۴۶
خرداد	۱۸/۲۲	۱۹/۳۰	**./۰۲۷	-/۲۸۷	-/۰۸۴
تیر	۱۹/۶۹	۲۱/۵۴	***./۰۰۷	-/۳۴۷	-/۰۷۶
مرداد	۱۷/۳۰	۱۹/۳۷	***./۰۰۱	-/۶۴۶	-/۱۰۵
شهریور	۱۲/۳۵	۱۴/۳۹	***./۰۰۱	-/۴۴۸	-/۰۸۴

\*\* معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* معنی داری روند در سطح ۹۹٪

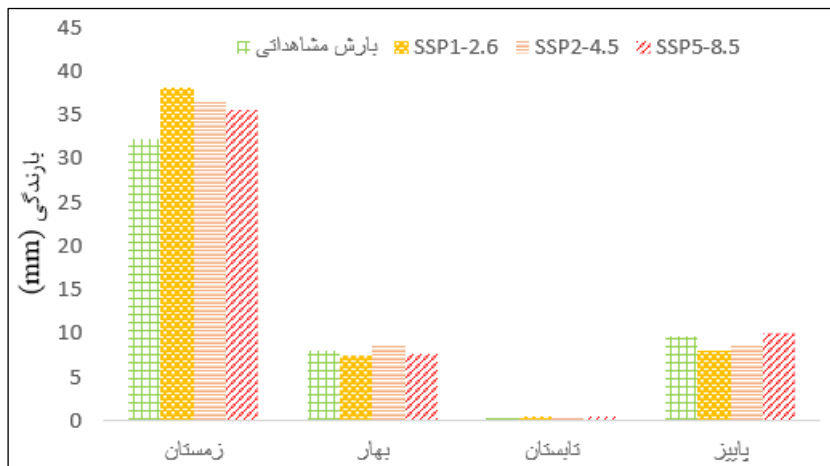
جدول ۱۳- مقایسه میانگین مجموع بارش‌های ماهانه در دوره مشاهداتی و آینده، آزمون من-کندال و شیب سن تحت سناریوی SSP5-8.5

ماه	دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)	SSP5-8.5 (۲۰۲۲-۲۰۵۰)	بارش		
			SSP5-8.5 p-value	SSP5-8.5 Z	SSP5-8.5 Q
مهر	۳/۲۴	۲/۵۳	-/۵۴۴	-/۰۸۰	-/۰۲۵
آبان	۵/۸۳	۵/۵۶	-/۰۷۷	-/۲۳۰	-/۱۱۰
آذر	۲۰/۰۳	۲۰/۷۹	-/۱۷۵	-/۱۷۷	-/۰۳۱۸
دی	۲۷/۷۰	۳۲/۷۱	-/۶۴۳	-/۰۶۲	-/۰۱۵۰
بهمن	۳۳/۸۹	۳۰/۵۴	-/۲۲۵	-/۱۵۹	-/۰۴۳۸
اسفند	۳۵/۰۵	۴۳/۳۶	-/۴۷۵	-/۰۹۴	-/۰۴۴۶
فروردین	۱۷/۳۳	۱۶/۰۰	۱/۰۰۰	-/۰۰۲	-/۰۰۳
اردیبهشت	۶/۳۸	۶/۴۷	-/۵۶۸	-/۰۷۶	-/۰۳۹
خرداد	-/۰۶۲	-/۰۵۷	-/۲۳۸	-/۱۵۵	-/۰۰۵
تیر	-/۰۰۷	-/۰۰۸	-/۸۳۰	-/۰۳۱	-/۰۰۰
مرداد	-/۰۴۸	-/۰۵۹	-/۵۰۹	-/۰۸۸	-/۰۰۸
شهریور	-/۰۴۹	-/۰۸۰	-/۳۰۱	-/۱۳۶	-/۰۱۱

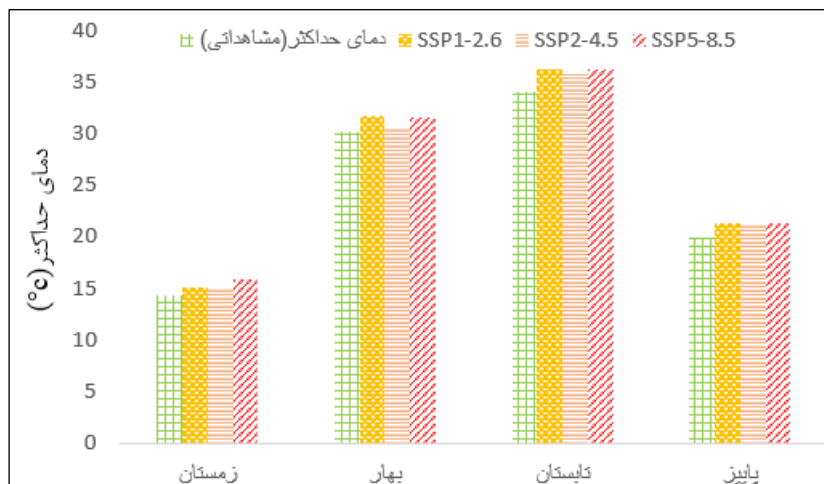
\*\* معنی داری روند در سطح ۹۵٪ \*\*\* معنی داری روند در سطح ۹۹٪

از منظر تغییرات فصلی، براساس شکل ۲، مشاهده می‌شود که مقدار بارش در فصل‌های تابستان و زمستان تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) از ۳/۳ تا ۵/۹ میلی‌متر افزایش یافته است و در حالی که در فصل پاییز تحت سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۰/۲۵ افزایش و تحت دو سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 نیز از ۰/۹۳ تا ۱/۹۸ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره مشاهداتی بدست آمده است. برای فصل بهار سناریوی SSP2-4.5 به میزان ۰/۵۱ افزایش و دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 به ترتیب به میزان ۰/۶۷ و ۰/۴۳ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهداتی کاهش یافته است.

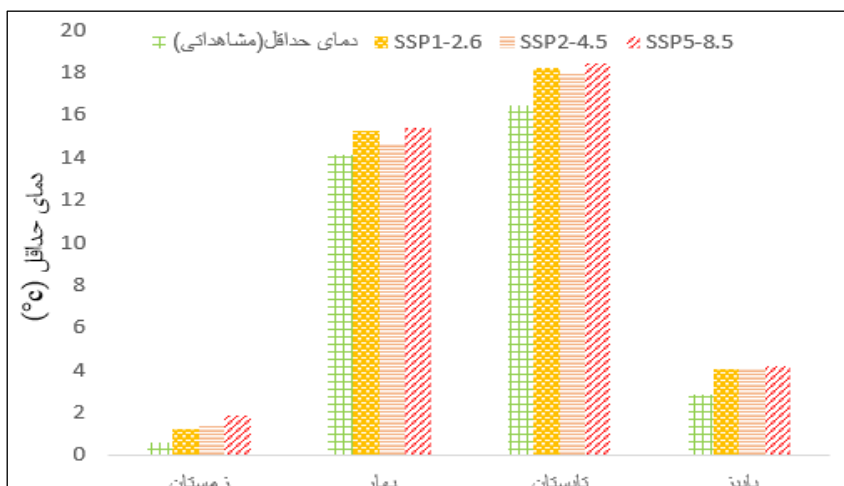
براساس شکل ۳، مشاهده می‌شود که تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) دمای حداکثر در تمامی فصل‌ها از میزان ۰/۴۸ تحت سناریوی SSP2-4.5 در فصل بهار تا ۲/۲۲ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی SSP1-2.6 در فصل تابستان، دارای روند افزایشی است که مقدار این افزایش در ماه‌ها تحت سناریوهای مختلف، متفاوت می‌باشد. همچنین در شکل ۴، نیز تغییرات فصلی دمای حداقل تحت سه سناریو مذکور در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد که همانند دمای حداکثر در تمامی فصل‌ها روند تغییرات فصلی از میزان ۰/۶۰ تحت سناریوی SSP1-2.6 در فصل زمستان تا ۱/۹۸ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی SSP5-8.5 در فصل تابستان، افزایشی بوده و مقدار آن‌ها تحت هر کدام از سناریوها در ماه‌های مختلف متفاوت است. در تحقیق (Sarabi et al, 2020) روند تغییرات فصلی بارش در فصل بهار تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 از میزان ۴/۲۸ تا ۶/۹۵ درصد و در زمستان تحت سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۸/۵ درصد افزایش داشته است و در فصل تابستان به میزان ۱۰/۶۷ تا ۲۱/۸۱ درصد و در فصل پاییز از ۱/۳۶ تا ۳/۴ دارای روند کاهشی بوده است. این در حالی است که در این تحقیق همانند مطالعه حاضر مقادیر دمای حداکثر و دمای حداقل تحت هر سه سناریو دارای روند افزایشی نیز بوده است و مقادیر آن برای ماه‌های مختلف تحت هر سناریو متفاوت بدست آمده است.



شکل ۲- مقایسه فصلی بارش تحت سناریوهای SSP در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) و دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)



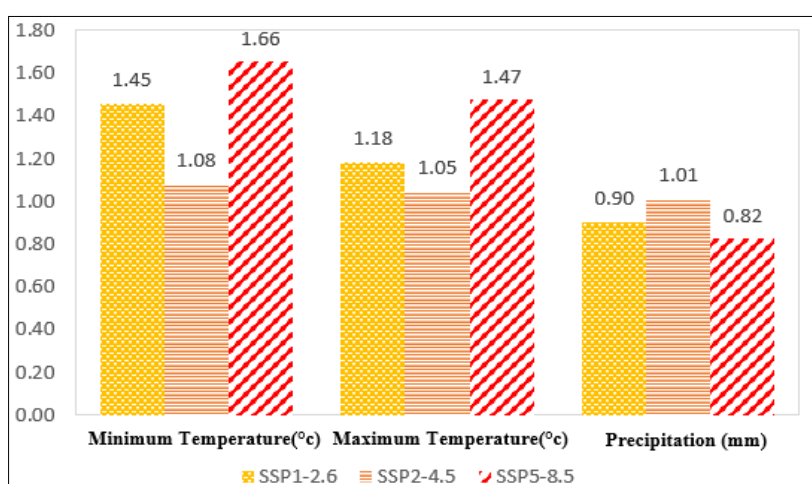
شکل ۳- مقایسه فصلی دمای حداکثر تحت سناریوهای SSP در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) و دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)



شکل ۴- مقایسه فصلی دمای حداقل تحت سناریوهای SSP در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) و دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

### بررسی تغییرات پارامترهای دما و بارش در شرایط تغییر اقلیم

در شکل ۵ مقایسه نتایج تغییرات متغیرهای اقلیمی دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش خروجی مدل MIROC-ES2L تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود میزان پارامتر دمای حداقل در هر سه سناریو نسبت به دمای حداکثر در دوره آینده بیشتر خواهد بود. به طور کلی در هر دو پارامتر دمای حداکثر و دمای حداقل، سناریوی بدبینانه SSP5-8.5 نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش بیشتری دارد. همچنین در بررسی پارامتر بارش تحت سه سناریو در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) در شکل ۵ مشاهده می‌شود که پارامتر بارش تحت سناریوی بدبینانه SSP5-8.5 به میزان ۰/۸۲ میلی‌متر است که نسبت به دو سناریوی دیگر کاهش یافته است. (Houshmand Kouchi *et al.*, 2019) در تحقیق خود از دو مدل GFDL-ESM2M و IPSL-CMA5-LR تحت سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 برای بررسی حوضه مند در جنوب حوضه طشک-بختگان استفاده کردند. که در این تحقیق هم همانند این مطالعه مشاهده می‌شود که علاوه بر اینکه دمای حداقل تحت سناریوی SSP5-8.5 بیشترین تغییرات افزایشی را دارد دمای حداکثر نیز تحت این سناریوی بدبینانه بیشترین تغییرات دما را دارد. همچنین نتایج بررسی پارامتر بارش در این تحقیق نیز نشان می‌دهد تغییرات بارش تحت هر دو سناریو و برای هر دو مدل روند کاهشی خواهد داشت.



شکل ۵- تغییرات میانگین بلند مدت متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای SSP در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

### نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم در جهان امروز یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی محسوب می‌شود. تغییر اقلیم



علاوه بر تأثیری که بر مقادیر آب در دسترس قابل استفاده برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی، شرب و صنعت می‌گذارد الگوی مصرف آب را تحت تأثیر قرار خواهد داد. همچنین تغییر اقلیم باعث افزایش خطر وقوع سیلاب، تبخیر و تعرق، کاهش منابع آب و وقوع خشکسالی - های بیشتر می‌گردد. لذا در این مطالعه به اثر تغییر اقلیم بر دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش در مقیاس ماهانه در ایستگاه بیرجند پرداخته شده است و از جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ششم IPCC گردآوری شده و با شرایط اقلیمی کره زمین مطابقت بیشتری دارد نیز استفاده شده است. لذا در این تحقیق از سه مدل IPSL-CM6A-LR، MIROC-ES2L و MRI-ESM2-0 تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 که بر روی پایگاه اطلاعاتی قرار داشت پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش در دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) و دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) استخراج گردید. سپس از مدل CMhyd برای مقیاس‌گامی داده‌ها استفاده شد و با به کار بردن آزمون‌های آماری R، RMSE و KGE سه مدل مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد مدل MIROC-ES2L نسبت به دو مدل دیگر عملکرد بهتری دارد و همچنین تناسب بیشتری با داده‌های مشاهداتی نیز دارد و دارای کمترین مقدار RMSE در هر سه پارامتر در این مدل نسبت به دو مدل دیگر است. بنابراین مدل MIROC-ES2L جهت چشم‌انداز پارامترهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه تحت سه سناریوی انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) استفاده شد. همچنین نتایج حاصل از آزمون من-کندال و شیب سن در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در طی دوره مشاهداتی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ نشان داد که پارامتر دمای حداکثر در سطح ۹۵ درصد در ماه‌های مهر و فروردین و در سطح ۹۹ درصد در ماه اسفند دارای روند افزایشی معنی‌دار و صعودی می‌باشد. دمای حداقل در ماه‌های مهر و اردیبهشت در سطح ۹۵ درصد دارای روند افزایشی است و پارامتر بارش در آبان ماه در سطح ۹۵ درصد روند افزایشی و در سطح ۹۹ درصد دارای روند کاهشی نیز می‌باشد. نتایج آزمون من-کندال براساس سناریوی SSP1-2.6 نشان داد که پارامتر بارش در اسفند ماه در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار کاهشی است و بقیه ماه‌ها فاقد روند معنی‌دار می‌باشند. پارامتر دمای حداکثر در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار افزایشی است و همچنین در این سناریو پارامتر دمای حداقل در سطح ۹۹ درصد در تیر ماه و در سطح ۹۵ درصد در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، مرداد و شهریور دارای روند معنی‌دار افزایشی و صعودی هستند. همچنین آزمون مذکور تحت سناریوی SSP2-4.5 توسط مدل MIROC-ES2L نشان می‌دهد که پارامتر بارش در تیرماه در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار کاهشی است و بقیه ماه‌ها فاقد روند معنی‌داری هستند. پارامتر دمای حداکثر در مرداد ماه در سطح ۹۹ درصد و در ماه‌های مهر و آبان دارای روند معنی‌دار افزایشی و صعودی می‌باشند. خروجی سناریوی SSP5-8.5 تحت آزمون من-کندال نشان می‌دهد که پارامتر بارش فاقد روند معنی‌دار می‌باشد و پارامتر دمای حداکثر در تیر و مرداد در سطح ۹۹ درصد و در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، خرداد و شهریور در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار افزایشی و صعودی بود و همچنین پارامتر دمای حداقل در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر و آذر در سطح ۹۹ درصد و در ماه‌های فروردین، خرداد، آبان و اسفند نیز در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌دار افزایشی می‌باشند. به طور کلی می‌توان گفت بررسی روندهای بارش در دوره مشاهداتی و آینده در ماه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشند و همچنین روندهای موجود در پارامترهای دمای حداقل و حداکثر به صورت صعودی و افزایشی است و این مطلب نشان دهنده گرم‌تر شدن دمای هوا در منطقه مورد مطالعه است. (Sarabi et al, 2020) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم آینده بر وضعیت دما و بارش در حوضه آبخیز سد طرق مشهد پرداختند. در این پژوهش از چهار مدل از مدل‌های جفت شده فاز ششم تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 برای دوره پایه و چهار دوره آینده استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات مقدار بارش در دوره‌های مختلف و تحت هر سناریو دارای روند سینوسی و در برخی از دوره‌ها افزایشی و برخی کاهشی بدست آمده است و چشم‌انداز پارامتر دما نشان داد که در تمامی دوره‌ها تحت هر سه سناریو دمای حداکثر و حداقل روند افزایشی نسبت به دوره پایه دارد. نتایج مطالعه حاضر از لحاظ تغییرات دمای حداکثر و حداقل با مطالعه فوق مطابقت دارد و میزان تغییرات دمای حداکثر و حداقل در مدل MIROC-ES2L تحت هر سه سناریو در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) دارای روند افزایشی است. از لحاظ تغییرات بارش در این مطالعه مشاهده می‌شود که تغییرات در برخی از ماه‌ها کاهشی و در برخی از ماه‌ها دارای روند افزایشی نسبت به دوره مشاهداتی است، اما در نهایت می‌توان گفت میانگین مجموع بارش‌های ماهانه تحت هر سه سناریو در دوره آینده (۲۰۲۲-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) دارای روند افزایشی است. با توجه به این امر که جهان در حال حرکت به سمت تکنولوژی‌های سازگاری با محیط زیست از جمله قوانین بین‌المللی مبنی بر رعایت اصول زیست محیطی در راستای کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد، در نظر گرفتن سناریوی بدبینانه SSP5-8.5 برای مبنای تصمیم‌گیری مقابله و سازگاری با شرایطی که ممکن است در آینده رخ دهد می‌توان گفت تا حد زیادی غیر منطقی



است و همچنین انتخاب سناریوی SSP1-2.6 که سناریوی خوش‌بینانه معرفی شده است به عنوان مبنای تصمیم‌گیری در برابر کشورهای توسعه نیافته و یا در حال توسعه که در ابتدای راه تغییر و تحول سازگاری با محیط زیست قرار گرفته‌اند می‌توان گفت بسیار خوش‌بینانه می‌باشد. بنابراین از میان سناریوهای مورد استفاده در این مطالعه منطقی به نظر می‌رسد سناریوی SSP2-4.5 به عنوان مبنای تصمیم‌گیری مناسبی جهت برنامه‌ریزی برای پیشنهاد راهکار مقابله و سازگاری با شرایطی که در آینده رخ خواهد داد انتخاب شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Abbasian, M., Moghim, S. and Abrishamchi, A. (2019). Performance of the general circulation models in and Applied Climatology 135, 14651483. (In Farsi)
- Ahmadi, M., Motamedvaziri, B., Ahmadi, H., Moeini, A. and Zehtabiyani, G R. (2019). Assessment of climate change impact on surface runoff statistical downscaling and hydrological modeling, *Physics and Chemistry of the Earth* 114, 102800.
- Azari, M., Moradi, H. R., Saghafian, B. and Faramarzi, M. (2016). Climate change impacts on streamflow and sediment yield in the North of Iran. *Hydrological Sciences* 61(1) 123–133. (In Farsi)
- Bagherpour, M., Seyed, M., Fathabadi, A. and Mohamadi, A. (2017). Study of Mann-Kendall Test Performance in Detecting the Series of Autocorrelation. *Journal of Watershed Management Science* 11(36), 11-21. (In Farsi)
- Chen, H.P. and Sun., J.Q. (2015). Assessing model performance of climate extremes in China: An intercomparison between CMIP5 and CMIP3. *Climatic Change* 129(1-2):197–211.
- De Oliveira, V.A., de Mello, C.R., Beskow, S., Viola, M.R. and Srinivasan, R. (2019). Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome. *Ecological Engineering* 133, 20–31.
- Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A.S. and Murphy, C. (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change* 12(1):166-184.
- El-Nesr, M.N., Abu-Zreig, M.M. and Alazba, A.A. (2010). Temperature trends and distribution in the Arabian Peninsula. *American Journal of Environmental Sciences* 6, 191-203.
- Eyring, V., Bony, S. and Meehl, G.A. (2016) Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* 9:1937–58.
- Fallah-Ghalhari, G., Shakeri, F. and Dadashi-Roudbari, A. (2019). Impacts of climate changes on the maximum and minimum temperature in Iran: *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1539-1562. (In Farsi)
- Goodarzi, M., Vagheei, H. and Mousavi, M. (2020). The behavior of inflow to the Seimareh Dam in the face of climate change impacts. *International Journal of Environmental Science and Technology* 22(3):170182. (In Farsi)
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K. and Martinez, G.F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modeling: *Journal of Hydrology*. 377(1-2), 80-91.
- Gupta, V., Singh, V. and Jain, M.K. (2020). Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology* 590(1), 125422.
- Houshmand Kouchi, D., Esmaili, K., Faridhosseini, A., Sanaei Nejad, SH. and Khalili, D. (2019). Simulation of climate change impacts using fifth assessment report models under RCP scenarios on water resources in the upper basin of Salman Farsi Dam. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(13):243-258. (In Farsi)
- IPCC .(2001). Climate change, Impacts Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: *Cambridge University Press*.
- Liu, H., Remer, L.A., Huang, J., Huang, H.C., Kondragunta, S., Laszlo, I. and Jackson, J.M. (2014). Preliminary evaluation of S-NPP VIIRS aerosol optical thickness: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 119, 3942-3962.



- Maghrabi, A.H. and Alotaibi, R.N. (2018). Long-term variations of AOD from an AERONET station in the central Arabian Peninsula: *Theoretical and Applied Climatology*. 134(3-4), 1015-1026.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 13(3), 245-259.
- Mekonnen, D.F. and Disse, M. (2018). Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408.
- Nilawar, A.P. and Waikar, M.L. (2019). Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India, *Science of Total Environment* 650, 2685-2696.
- O'Neill, BC., Tebaldi, C. and van Vuuren, D.P. (2017). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development* 9:3461-82.
- Op de Hipt, F., Diekkruiger, B., Steup, G., Yira, Y., Hoffmann, T., Rode, M. and Naschen, K. (2019). Modeling the effect of land use and climate change on water resources and soil erosion in a tropical West African catchment (Dano, Burkina Faso) using SHETRAN. *Science of Total Environment* 653, 431-445.
- Op de Hipt, F., Diekkruiger, B., Steup, G., Yira, Y., Hoffmann, T. and Rode, M. (2018). Modeling the impact of climate change on water resources and soil erosion in a tropical catchment in Burkina Faso West Africa. *CATENA*. 163, 63-77.
- Pachauri, R.K., Meyer, L.A. and IPCC. (2014). Climate Change, Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Raziei, T. and Sotoudeh, F. (2017). Evaluation of the accuracy of the European Center for Medium-Term Atmospheric Forecasting (ECMWF) in predicting precipitation in various climatic regions of Iran: *Earth and space physics*. 43 (1). 133-147. (In Farsi)
- Roshani, A. and Hamidi, H. (2020). Predicting the effect of climate change scenarios on temperature and precipitation based on cmip6 models (Case study: Sari station). *Journal of Water and Irrigation Management*. 11 (4). 795-781. (In Farsi)
- Sarabi, M., Dastarani, M.T. and Zarrin, A. (2020). Investigation of the effect of future climate change on temperature and precipitation (Case study: Mashhad Torgh Dam watershed). *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences* 3 (1). 63-83. (In Farsi)
- Shagega, F.P., Munishi, S.E. and Kongo, V.M. (2020). Assessment of potential impacts of climate change on water resources in Ngerengere catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth* 116(1).
- Su Buda, Huang, J., Mondal, S.K., Zhai, J., Wang Yanjun, Wen, Shanshan, Gao, Miaoni, Yanran, Lv, Jiang, Shan, Jiang, Tong. and Aiwei, L. (2020). Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in china. *Atmospheric Research*. 250(1) .
- Tayebiyani, A., Mohammad, T.A., Malakotian, M., Nasiri, A., Heidari, M.A. and Yazdanpanah, G.h. (2019). Potential impact of global warming on river runoff coming to Jor reservoir, Malaysia by integration of LARSWG with artificial neural network. *Environmental Health Engineering and Management Journal* 6(2), 130-149.
- Tesfaye Hordofa, A., Tolessa Leta, O., Alamirew, T. and Demissie Chukalla, A. (2021). Spatiotemporal Trend Analysis of Temperature and Rainfall over Ziway Lake Basin, Ethiopia. *Hydrology* 9,2.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. and Rose, S.K. (2011). The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*. 109(1):5-31.
- Yaghobzadeh, M., Khashei suiki, A., Ramezani, Y. and Hoseeini, S.F. (2020). Selecting the best model of climate change in estimating meteorological variables of Birjand synoptic station. *Geographical studies of arid regions*. 10(37), 68-78.
- Yue, S. and Hashino, M. (2003). Temperature trends in Japan: 1900- 1996: *Theoretical and Applied Climatology* 75, 15-27.