

Investigating the effects of climate change on water resources in the Hormozgan province using CMIP6 models under various Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) scenarios

Negar Shamsaei¹, Rasool Mahdavi^{2*} , Asadolah khorani³ and Hamid Gholami⁴

1- PhD student in Desert Management and Control, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

2* - Corresponding author, Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, E-mail: ra_mahdavi2000@hormozgan.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Geographical Sciences, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

4- Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Received: 11/17/2024

Revised: 04/20/2025

Accepted: 04/21/2025

Published: 08/23/2025

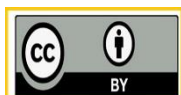
Abstract

Background and Objectives

Climate change, particularly variations in temperature and precipitation, is a critical topic in environmental sciences. Its significance stems from both scientific and practical dimensions, including environmental and socio-economic impacts. Human systems reliant on climatic factors, including water resources, agriculture, and industries, are designed and operated based on climate stability. The impact of climate change on water resources is especially significant and requires further investigation, particularly in arid and semi-arid regions such as southern Iran, especially Hormozgan Province. Located within the arid belt and desert strip, Hormozgan experiences low annual precipitation, harsh and fragile ecosystems, and prolonged drought periods. Therefore, projecting future climatic conditions and water availability is crucial for informed long-term decision-making and sustainable management of the province's natural resources, aiming to prevent declines in ecological capacity.

Methodology

Hormozgan Province's location in a dry belt and desert strip exposes it to fragile environmental conditions and extended droughts. Considering multiple parameters, available potential water serves as a suitable indicator for studying long-term climate change and desertification. This study evaluates several CMIP6 models to investigate changes in temperature, precipitation, potential evapotranspiration, and the available potential water index in two future periods—the near future (2031–2060) and the far future (2071–2100)—compared to the observation period (1993–2023) under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 shared socio-economic pathways. Daily temperature and precipitation data for six meteorological stations were obtained from [http://data.irimo.ir. (http://data.irimo.ir). Additionally, precipitation and average temperature outputs from 14 CMIP6 models for the base period (1993–2014), near future, and far future were extracted from the ESGF database (Table 1). Two SSP scenarios were applied: SSP2-4.5, representing moderate socio-economic development and medium radiative forcing, and SSP5-8.5, representing high fossil fuel



Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<http://ijdr.areeo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

consumption. Climate models were downscaled using linear scaling bias correction (LSBC) for temperature and the delta change factor (DCF) method for precipitation. Model performance was evaluated using RMSE, MSE, MAE, R, and R^2 criteria. The IWM method was applied to ensemble-selected models to improve reliability and reduce uncertainty. Changes in temperature, precipitation, potential evapotranspiration, and available potential water were then predicted for the two future periods and compared to the observation period. Trends in the available potential water index were analyzed using the non-parametric Mann–Kendall test and Sen's slope estimator.

Results

The ensemble models demonstrated adequate accuracy for simulating temperature and precipitation. Forecasts indicate that near-future precipitation will decrease by 10% and 14.5% under SSP2-4.5 and SSP5-8.5, respectively. In the far future, precipitation is projected to decline by 5.5% and 32.6%, respectively, compared to the base period. Overall, average precipitation is expected to decrease by 12.2% in the near future and 20.7% in the far future in Hormozgan Province. Meanwhile, temperature is projected to increase by 1.7°C in the near future and 3.3°C in the far future relative to the observation period.

Conclusion

As a result, potential evapotranspiration is expected to rise, while available potential water decreases. In the near future, potential evapotranspiration and water shortage are projected to increase by 5.02% and 8.9%, respectively. In the far future, these increases are expected to reach 12.5% and 17.3%, respectively. Time-series analyses of these variables confirm these trends. The findings provide a strategic tool for policymakers and water resource managers in Hormozgan Province to support sustainable planning and adaptation to climate change.

Keywords: Bias correction, CMIP6 potential available water, precipitation, temperature.

بررسی اثرهای تغییر اقلیم بر منابع آب استان هرمزگان با استفاده از مدل های CMIP6 تحت سناریوهای مختلف خط سیر اجتماعی- اقتصادی مشترک (SSPs)

نگار شمسانی^۱، رسول مهدوی^{۲*}، اسداله خورانی^۳ و حمید غلامی^۴

۱- دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

پست الکترونیکی: ra_mahdavi2000@ hormozgan.ac.ir

۳- دانشیار، گروه علوم جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۴- استاد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

چکیده

سابقه و هدف

فرایند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش یکی از مهمترین مباحث در قلمرو علوم محیطی است. این پدیده به‌دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن (اثرهای محیطی و اقتصادی- اجتماعی) از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا سامانه‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند منابع آب، کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌کنند. از سویی، تأثیر تغییر اقلیم بر منابع تأمین آب قابل توجه است و نیازمند بررسی بیشتر می‌باشد. این تأثیر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند مناطق جنوبی کشور و به‌ویژه استان هرمزگان نگران‌کننده‌تر است. استان هرمزگان به‌دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند خشک و نوار بیابانی و با دریافت سهم اندک نزولات آسمانی و بارش‌های حدی با شرایط اقلیمی و اکوسیستم محیط طبیعی سخت و شکننده و دوره‌های طولانی خشکسالی مواجه می‌باشد. بنابراین اگر بتوان دورنمایی از شرایط اقلیمی حاکم بر استان و موجودیت آب در دسترس آن را برای سال‌های آینده ترسیم نمود، به‌طبع امکان تصمیم‌گیری بلندمدت مؤثرتری برای برخورداری از منابع طبیعی استان با هدف جلوگیری از کاهش توان اکولوژیک فراهم خواهد آمد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه پژوهش، استان هرمزگان در جنوب ایران است که به‌دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند خشک و نوار بیابانی با شرایط اقلیمی و اکوسیستم محیط طبیعی شکننده و دوره‌های طولانی خشکسالی مواجه است (شکل ۱). از آنجا که آب ظرفیت در دسترس دربرگیرنده چندین پارامتر می‌باشد، شاخص مناسبی برای مطالعه بلندمدت تغییر اقلیم و بیابان‌زایی محسوب می‌شود. از این‌رو، در این پژوهش ضمن ارزیابی مدل‌های مختلف CMIP6، تغییرات دما، بارش، ظرفیت تبخیر و تعرق و شاخص آب ظرفیت در دسترس در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۳۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۳-۲۰۲۳) تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بررسی گردید. برای انجام این پژوهش، ابتدا داده‌های روزانه دما و بارش برای شش ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه (بندرعباس، بندرلنگه، حاجی‌آباد، ابوموسی، میناب و جاسک) در دوره (۱۹۹۳-۲۰۲۳) از پایگاه <http://data.irimo.ir> دریافت شد. همچنین برونداد بارش و دمای میانگین ۱۴ مدل CMIP6 برای دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۱۴)، دوره آینده نزدیک و دوره آینده دور از پایگاه داده ESGF استخراج شد (جدول ۱). در ادامه، از دو سناریوی خط سیر اجتماعی- اقتصادی مشترک (SSPs) یعنی SSP2-4.5 که جهان با توسعه اجتماعی- اقتصادی در شرایط معمول را با آسیب‌پذیری و سطح واداشت تابشی متوسط در نظر می‌گیرد و سناریوی SSP5-8.5 که حد بالای مصرف سوخت فسیلی و الگوی مصرف بالای انرژی را نشان می‌دهد، استفاده شد. مدل‌های اقلیمی با روش تصحیح اریبی نسبت‌گیری خطی (LSBC) برای متغیر دما و روش تغییر عامل دلتا (DCF) برای بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه ریزمقیاس

شدند. برای ارزیابی مدل‌ها از سنج‌های R^2 ، MAE ، MSE ، $RMSE$ و R استفاده شد. همچنین، برای درک بهتر و کاهش عدم قطعیت نیز از روش IWM برای همادی کردن مدل‌های منتخب استفاده شد. سپس به پیش‌نگری تغییرات دما، بارش، ظرفیت تبخیر و تفرق و آب ظرفیت در دسترس در دو دوره زمانی آینده نسبت به دوره مشاهداتی پرداخته شد. روند تغییرات شاخص آب ظرفیت در دسترس در دوره‌های زمانی مذکور نیز با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر شیب سن بررسی شد.

نتایج

نتایج نشان داد که روش همادی کردن مدل‌ها، دقت مناسبی برای شبیه‌سازی دما و بارش دارد. نتایج پیش‌نگری نشان داد که بارش در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۱-۲۰۶۰) براساس سناریوی SSP2-4.5 به میزان ۹/۹۷ درصد و براساس سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۱۴/۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. در آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) نیز میزان بارش نسبت به دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۳) براساس سناریوهای مذکور به ترتیب ۲۰ و ۲۱/۵ درصد کاهش خواهد یافت (شکل ۳). بررسی تغییرات دما نیز نشان می‌دهد که براساس سناریوی SSP2-4.5 میزان دما در منطقه مورد مطالعه در دو دوره آینده مورد بررسی (۲۰۳۱-۲۰۶۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۲۳) به ترتیب ۱/۳ و ۲/۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. این تغییرات براساس سناریوی SSP5-8.5 شدیدتر خواهد شد، به‌طوری‌که میزان تغییرات در دو دوره مذکور نسبت به دوره پایه به ترتیب ۲/۲ و ۴/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. این در حالی است که دما افزایش پیدا خواهد کرد و میزان این افزایش در دوره آینده نزدیک و دور به ترتیب برابر با ۱/۷ و ۳/۳ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره مشاهداتی خواهد بود (شکل ۴).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از سناریوهای مورد بررسی، میزان ظرفیت تبخیر و تفرق افزایش و میزان ظرفیت آب در دسترس کاهش می‌یابد. در دوره آینده نزدیک، میزان افزایش ظرفیت تبخیر و تفرق به‌طور متوسط ۵/۰۲ درصد و کمبود آب در دسترس ۸/۹ درصد افزایش و در دوره آینده دور، ظرفیت تبخیر و تفرق ۱۲/۵ درصد و کمبود آب در دسترس ۱۷/۳ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. بررسی سری زمانی متغیرهای مذکور نیز نتایج حاصل را تأیید می‌کند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به عنوان ابزاری راهبردی برای سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب در استان هرمزگان استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بارش، تصحیح اریبی، دما، ظرفیت آب در دسترس، CMIP6.

مقدمه

با جدی شدن بحث تغییر اقلیم در دنیا، مطالعه پارامترهای اقلیمی و پیش‌نگری تغییرات آن در دوره‌های آینده به‌صورت گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (Goudarzi et al., 2016). فرایند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث در قلمرو علوم محیطی است. این پدیده به‌دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن (اثرهای محیطی و اقتصادی- اجتماعی) از اهمیت بیشتری برخوردار بوده زیرا سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند منابع آب، کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌کنند (Zahabiyou et al., 2011). هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (۲۰۲۱) در گزارش ششم خود میانگین افزایش دمای

جهانی را تا پایان قرن ۲۱ برای سناریوی حد متوسط SSP2-4.5، ۲/۳-۱/۵ درجه سلسیوس و برای سناریوی بدبینانه SSP5-8.5 حدود ۵/۷-۳/۳ درجه سلسیوس اعلام کرده است. در صورتی که این پیش‌نگری‌ها درست باشد، افزایش دمای هوا حتی با عدم کاهش یا افزایش معنی‌دار بارش می‌تواند با افزایش تقاضای آب (تقاضای برداشت بیشتر منابع سطحی و زیرزمینی)، کاهش کیفیت آب (افزایش غلظت نمک، افزایش دمای آب، کاهش اکسیژن محلول در آب و ...)، افزایش تبخیر و تفرق و کاهش رطوبت خاک همراه باشد و کشاورزی اعم از آبی و حتی دیم را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین مدیران باید درکی از وضعیت فعلی و تغییرات احتمالی آینده داشته باشند تا اتخاذ بهترین تصمیم امکان‌پذیر باشد

(۲۰۲۰) برون داد سه مدل CAMS-، BCC-CSM2-MR، MRI-ESM2-0 و CSM1-0 از مجموعه مدل‌های CMIP6 را با استفاده از سنجه‌های متداول آماری شامل MAE، MBE و RMSE ارزیابی و برای حذف آریبی مدل‌ها نیز از روش تغییر عامل دلتا (DCF) استفاده کردند. براساس نتایج، مدل MRI-ESM2-0 به عنوان مدل برتر انتخاب شد. [Qin](#) و همکاران (۲۰۲۱) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در شمال غربی چین با استفاده از ۵ مدل CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های CMIP6 می‌توانند دما را بهتر از بارش شبیه‌سازی کنند. پیش‌نگری‌ها نیز نشان داد که میانگین دما و بارش افزایش پیدا خواهد کرد. [Zhang](#) و همکاران (۲۰۲۲) کارایی مدل‌های CMIP6 را برای شبیه‌سازی دما و بارش در خینچیانگ چین با استفاده از ۴۲ مدل طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۵ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی دما خطای کمتری نسبت به بارش داشته و بارش سالانه و فصلی عموماً بیش از حد تخمین زده می‌شود. [Abdolzadeh](#) و همکاران (۲۰۲۲) به منظور ارزیابی دقت مدل‌های CMIP6 برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه مدل‌های MRI-ESM2، MPI-ESM1-2HR و INM-CM5-0، CMCC-ESM2 را مورد بررسی و برای تصحیح آریبی مدل‌ها از روش تغییر عامل دلتا و برای ارزیابی دقت از سنجه‌های (R^2) ، RSME، NRMSE، نمودار تیلور و پراش‌نگار استفاده نمودند. تمامی شاخص‌ها نشان دادند که هر چهار مدل، دما را با دقت بالایی شبیه‌سازی کرده‌اند اما شبیه‌سازی بارش به‌ویژه در مدل CMCC ضعیف ارزیابی شد. [Palmer](#) و همکاران (۲۰۲۳) یک ارزیابی مبتنی بر عملکرد مدل‌های CMIP6 برای اروپا ایجاد کردند که می‌توان از آن برای اطلاع‌رسانی مدل‌های منطقه استفاده نمود. [Derakhshandeh](#) و همکاران (۲۰۲۴) به پیش‌نگری تغییرات بارش در ایران براساس مدل‌های منطقه‌ای پروژه CORDEX تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 پرداختند. نتایج، کاهش بارندگی و افزایش دوره‌های

([Mianabadi et al., 2023](#); [Ghorbani Minaei et al., 2024](#)). بنابراین بررسی و پیش‌نگری تغییر اقلیم و به‌ویژه تغییرات دما و بارش به عنوان مهمترین پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های راهبردی آینده مدیریت منابع آب باشد ([Goudarzi et al., 2003](#); [Hardy, 2015](#)). روش‌های مختلفی برای پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی وجود دارد که معتبرترین آنها استفاده از مدل‌های گردش کلی جو (GCM) هستند و در حال حاضر قوی‌ترین ابزار به منظور تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند ([Su et al., 2021](#)). 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 ([Sylla, Niroumandfard et al., 2022](#)) و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی خطر نقصان آب در غرب آفریقا در طی دوره‌های آینده با استفاده از سناریوهای مختلف اقلیمی، شاخص ظرفیت آب قابل‌دسترس را تعریف کردند که نسبت بین میزان بارش به ظرفیت تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد. [Zarezade Mehrizi](#) و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی تغییرات جریان آینده تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در حوضه آبریز رودخانه گاماسیاب پرداختند. در این پژوهش از خروجی چهار مدل CMIP5 و دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 برای آینده نزدیک (۲۰۴۹-۲۰۲۰) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۰۷) استفاده شد. نتایج نشان داد که با توجه به سناریوهای مدنظر و دوره‌های زمانی مختلف، بارش بین $31/6\%$ تا $52/8\%$ درصد تغییر خواهد کرد که در نتیجه آن میزان جریان از $42/3\%$ تا $17/8\%$ درصد متغیر خواهد بود. پرندین و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی سهم تغییر اقلیم در حداکثر دبی روزانه در حوضه جاماش در استان هرمزگان پرداختند. نتایج نشان داد تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 میزان بارش در دوره آینده نسبت به دوره تاریخی به ترتیب $4/6\%$ و $2/6\%$ درصد کاهش می‌یابد که در نتیجه آن میزان دبی نیز $5/9\%$ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. [Dadashi Roudbari](#) و [Zarrin](#)

دسترس در استان هرمزگان در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۳۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۲۳-۱۹۹۳) تحت دو سناریوی خط سیر اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSP2-4.5 و SSP5-8.5) که به ترتیب بیانگر حالت میانه و بدبینانه شرایط اقلیمی در دوره‌های آینده هستند، بررسی گردید.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

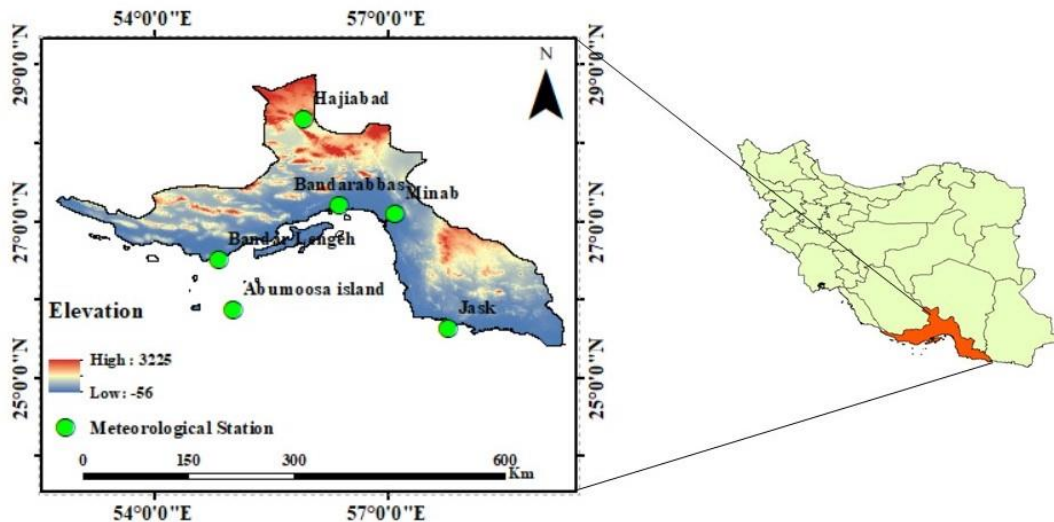
منطقه مورد مطالعه پژوهش، استان هرمزگان در جنوب کشور بین مختصات جغرافیایی $24^{\circ}20'$ تا $24^{\circ}0'$ عرض شمالی و $53^{\circ}20'$ تا $59^{\circ}10'$ طول شرقی است. این استان دارای وسعتی حدود ۶۹۷۰۰ کیلومتر مربع، متوسط دمای هوای سالانه $26/6$ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۶۸ درصد و میانگین بارندگی سالیانه این استان کمتر از ۲۰۰ می‌باشد. با توجه به مشخصات اقلیمی و استقرار استان هرمزگان در منطقه جنب‌حاره‌ای، گرمی هوا مهمترین پدیده مشهود اقلیمی منطقه است. ویژگی‌های آب و هوایی این استان، یک فصل طولانی گرم و یک فصل کوتاه خنک است (Eskandari Damaneh et al., 2022). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل (۱) آورده شده است.

مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی مورد بررسی

برای انجام این پژوهش، ابتدا داده‌های روزانه دما و بارش برای ۶ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه در دوره (۲۰۲۳-۱۹۹۳) از سایت <http://data.irimo.ir> دریافت گردید (جدول ۱) و برون‌داد بارش و دمای میانگین ۱۴ مدل CMIP6 برای دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۹۳) و دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۳۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) از پایگاه داده ESGF استخراج شد. مشخصات مدل‌های مورد بررسی در جدول (۲) آورده شده است. همچنین در این تحقیق از دو سناریوی خط سیر اجتماعی-اقتصادی مشترک یعنی SSP2-4.5 که دنیایی با توسعه اقتصادی-اجتماعی در شرایط معمول

خشکی در سراسر کشور را نشان داد. Feyissa و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی تغییر اقلیم بر فرایند هیدرولوژیکی و منابع آب در حوضه اومو در اتیوپی تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 با استفاده از مدل‌های CMIP6 و SWAT پرداختند. نتایج نشان داد که تحت هر دو سناریو ظرفیت تبخیر و تعرق با افزایش دما در همه شرایط افزایش خواهد یافت. Sari Sarraf و همکاران (۲۰۲۴) به پیش‌نگری تغییرات بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که براساس سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 میزان بارش تا پایان قرن ۲۱ به ترتیب $14/5$ و $3/6$ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. با توجه به مطالعات انجام شده و بررسی پیشینه پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آینده نسبت به دوره مشاهداتی تغییر خواهند کرد. از سوی دیگر، تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس و شدت تغییرات آن مؤثر است. استان هرمزگان به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند خشک و نوار بیابانی و با دریافت سهم اندک نزولات آسمانی و بارش‌های حدی با شرایط اقلیمی و اکوسیستم محیط طبیعی سخت و شکننده و دوره‌های طولانی خشکسالی مواجه می‌باشد. بنابراین اگر بتوان دورنمایی از شرایط اقلیمی حاکم بر استان و موجودیت آب در دسترس آن را برای سال‌های آینده ترسیم کرد، به طبع امکان تصمیم‌گیری بلندمدت مؤثرتری برای برخورداری از منابع طبیعی استان با هدف جلوگیری از کاهش توان اکولوژیک فراهم خواهد شد. از آنجایی که ظرفیت آب در دسترس دربرگیرنده چندین پارامتر می‌باشد شاخص مناسبی برای مطالعه بلندمدت تغییر اقلیم و بیابان‌زایی محسوب می‌شود. در حال حاضر مدل‌های CMIP6 جدیدترین نسل مدل‌های گردش کلی جو (GCM) برای بررسی تغییرات اقلیمی در جهان هستند. از این رو، با توجه به این موضوع و وضعیت اقلیمی و منابع آب منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، ضمن ارزیابی مدل‌های مختلف CMIP6، وضعیت تغییرات دما، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص آب پتانسیل در

را با آسیب‌پذیری و سطح واداشت تابشی متوسط در نظر می‌گیرد و سناریوی SSP5-8.5 که حد بالای سوخت فسیلی و الگوی مصرف بالای انرژی را نشان می‌دهد (IPCC., 2021)، استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی
Figure 1- Geographical location of the studied area and meteorological stations

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

Table 1- Geographical characteristics of the meteorological stations under study

Station	Lat	Lon	ELV (m)
Bandarabbas	27.21	56.37	9.8
Bandar-e-Lengeh	26.53	54.83	22.7
Jask	25.64	57.77	5.2
Abumusa island	25.87	55.01	6.6
Hajiabad	28.31	55.91	931.2
Minab	27.11	57.09	29.6

جدول ۲- مشخصات مدل‌های CMIP6 مورد استفاده در این پژوهش (Rao and Garfinkel, 2021)

Table 2- Specifications of CMIP6 models used in this research (Rao and Garfinkel, 2021)

Models	resolution (degree)	country
ACCESS-ESM1-5	1.88 × 1.25	Australia
AWI-ESM-1-1-LR	0.94 × 0.94	Germany
EC-Earth3-CC	0.35 × 0.35	Europe
MIROC6	1.4 × 1.4	Japan
MPI-ESM1-2-HR	0.94 × 0.94	Germany
MPI-ESM1-2-LR	0.94 × 0.94	Germany
CESM2-WACCM	0.94 1.25 ×	USA
CMCC-CM2-SR5	1.25 × 0.94	Italy
CMCC-ESM2	0.94 × 1.25	Italy
FGOALS-f3-L	1 1.25 ×	China
GFDL-ESM4	1 × 1.25	USA
INM-CM5-0	1.5×2	Russia
NorESM2-MM	2.5 × 1.89	Norway

ریزمقیاس‌سازی

مقادیر مشاهداتی است (Lenderink et al., 2007). روش نسبت‌گیری خطی را می‌توان براساس روابط (۱) و (۲) تعریف نمود (Yazdani et al., 2024).

در این تحقیق، برای ریزمقیاس‌سازی متغیر دما از روش نسبت‌گیری خطی (LS) استفاده شد. هدف از این روش، منطبق کردن کامل میانگین ماهانه مقادیر تصحیح شده با

$$T_{his}(d)^* = T_{his}(d) + [\mu_m\{T_{obs}(d)\} - \mu_m\{T_{his}(d)\}] \quad (۱)$$

$$T_{sim}(d)^* = T_{sim}(d) + [\mu_m\{T_{obs}(d)\} - \mu_m\{T_{his}(d)\}] \quad (۲)$$

میانگین وزنی و همادی

برای کاهش عدم قطعیت خروجی مدل‌های اقلیمی از میانگین وزنی استفاده شد. Bishop و Abramowitz (۲۰۱۳) یک روش میانگین وزنی با رویکرد مستقل ایجاد کردند که وابستگی بین مدل‌های تعریف شده را با استفاده از کوواریانس خطاهای مدل نشان می‌دهد. Lei و همکاران (۲۰۲۳) ضمن مقایسه روش‌های میانگین وزنی مستقل (IWM)، میانگین حسابی (AMME) و میانه (MME)، عملکرد بهتر میانگین وزنی مستقل (IWM) را در کاهش تحریف و بهبود ضرایب همبستگی تأیید کردند که نشان‌دهنده توانایی IWM در بهبود دقت مدل‌هاست. در این مطالعه از روش IWM برای همادی کردن مدل‌های منتخب استفاده شد. روش IWM در حقیقت ترکیب خطی یک مجموعه از شبیه‌سازی‌های مدل است که میانگین اختلاف مربع را با توجه به مشاهدات به حداقل می‌رساند (Khajeh amiri et al., 2022). این روش براساس رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

در روابط ارائه شده T دما، d مخفف روزانه، μ_m میانگین بلندمدت ماهانه، علامت ستاره (*) بیانگر اریبی تصحیح شده است که به برونداد مستقیم مدل طی دوره تاریخی اشاره دارد. obs بیانگر داده‌های مشاهداتی، sim و his به ترتیب بیانگر داده‌های شبیه‌سازی و تاریخی مدل‌های GCM یا DMO است. برای ریزمقیاس‌سازی متغیر بارش از روش تغییر عامل دلتا (DCF) استفاده شد. به این صورت که عامل تغییر در مقدار بارش دوره پایه ضرب می‌شود تا مقادیر تصحیح شده بارش برای دوره پیش‌بینی حاصل شود. نحوه محاسبه آن در رابطه (۳) آورده شده است (Abdolzadeh et al., 2022).

$$P_o^f = P_o \times \frac{\mu_m^f}{\mu_m^c} \quad (۳)$$

در این رابطه P بارش برحسب میلیمتر، f دوره آینده (دوره صحت‌سنجی)، c دوره پایه (دوره کالیبراسیون)، m داده‌های مدل، o داده‌های مشاهداتی و $\frac{\mu_m^f}{\mu_m^c}$ عامل تغییر برای بارش هستند.

$$\sum_{j=1}^j (\mu_e^j - y^i)^2 \text{ where } \mu_e^j = w^T x^j = \sum_{k=1}^k w_k x_k^j \quad (۴)$$

است. μ_e^j مقدار متغیر همادی شده چندمدلی و j th گام زمانی است. y^i نشان‌دهنده j th گام زمانی در دوره مشاهداتی است.

در این رابطه $j(j=1,2,...,J)$ گام‌های زمانی مقادیر است. مقادیر $k(k=1,2,...,K)$ تعداد مدل‌های منتخب CMIP6

میانگین مربعات خطا (رابطه ۶) که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند (Salahi et al., 2017). مجذور میانگین مربعات خطا به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به‌کار می‌رود. این معیار که به‌صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود به عنوان مرسوم‌ترین شاخص خطا به‌کار می‌رود (Lin et al., 2006). میانگین مطلق خطا (رابطه ۸) برای مقایسه عبارت، به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به‌کار می‌رود (Hu et al., 2001). ضریب همبستگی (رابطه ۹) ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد (Helali et al., 2021).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (7)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (8)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_o - \bar{X}_o)(X_s - \bar{X}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_o - \bar{X}_o)^2 \sum_{i=1}^N (X_s - \bar{X}_s)^2}} \quad (9)$$

بوده و اگر کمتر از ۱ به‌دست آمد، یعنی تبخیر و تعرق پتانسیل بیش از بارش بوده و منطقه دچار کمبود آب می‌باشد (Sylla et al., 2018). در این پژوهش برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل این شاخص، از روش تورنت وایت استفاده شد. نسبت بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر ایستگاه و به تفکیک ماه محاسبه می‌شود. از مجموع نسبت‌های به‌دست آمده میانگین‌گیری خواهد شد و به عنوان شاخص آب در دسترس به کل استان تعمیم داده خواهد شد. شاخص نقصان آب از رابطه (۱۰) به دست می‌آید.

W وزن هر مدل از مجموعه مدل‌های همادی است که جمع آن یک خواهد بود. در نهایت x^j ضریب مدل در ترکیب خطی است (Bai et al., 2020).

سنجه‌های ارزیابی عملکرد مدل‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها، سنجه‌های عملکردی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از سنجه‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2)، میانگین مطلق خطا (MAE)، میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد. ضریب تعیین (R^2) معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۵) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (Goudarzi et al., 2015).

در روابط ذکرشده، X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{X}_o$ میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد داده‌هاست.

محاسبه آب پتانسیل در دسترس

شاخص آب در دسترس پتانسیل (AWPI) از نسبت بین بارش (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) به دست می‌آید. بارش به عنوان منبع آب اقلیمی و تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان تقاضای آب اقلیمی می‌باشد. اگر مقدار شاخص بیشتر از ۱ به‌دست آید، یعنی بارش بیشتر از تبخیر و تعرق پتانسیل

زمینه شبیه‌سازی بارش نیز نشان می‌دهد که دامنه تغییرات شاخص RMSE در مدل‌های مورد بررسی بین ۱۱/۳ تا ۲۱/۲ است که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به مدل‌های ACCESS-ESM1-5 و MRI-ESM2-0 است. پس از مدل MRI-ESM2-0 نیز بیشترین دقت مربوط به مدل‌های CESM2-WACCM و NorESM2-MM است. در مجموع براساس سنج‌های مختلف، دقت بیشتر مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه پایین است، به طوری که میزان R^2 آن‌ها بین ۰/۰۵ تا ۰/۷۳ در تغییر بوده است (جدول ۳). نتایج حاصل از این بخش با یافته‌های [Zarrin و Dadashi-roodbari \(۲۰۲۰\)](#) و [Sari Sarraf](#) و همکاران (۱۴۰۳) مبنی بر دقت مدل‌های مذکور در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در مناطق مختلف کشور و [Mesgari](#) و همکاران (۲۰۲۲) در خاورمیانه و شمال آفریقا مطابقت دارد. برای درک بهتر و کاهش عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم به جای استفاده از یک مدل از میانگین وزنی مدل‌ها استفاده می‌شود. به این منظور، در این مطالعه از روش IWM برای همادی کردن مدل‌های منتخب استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که پس از همادی کردن میزان RMSE در پهنه مورد مطالعه برای دما برابر با ۱/۹ و برای بارش به ۱۱/۶ است که حکایت از دقت مناسب روش مورد بررسی دارد (جدول ۳). نتایج حاصل، مطالعات [Zarrin و Dadashi-roodbari \(۲۰۲۰\)](#) را مورد تأیید قرار می‌دهد.

برای نمایش بهتر دقت روش مورد بررسی، به مقایسه و بررسی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی دما و بارش براساس همادی مدل‌های منتخب در طول دوره آماری پایه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه پرداخته است. براساس نتایج حاصل، روش مورد بررسی ضمن در نظر گرفتن کاهش عدم قطعیت در پیش‌نگری‌های اقلیمی از دقت بالایی در شبیه‌سازی متغیرهای مورد مطالعه به‌ویژه متغیر دما برخوردار است (شکل ۲).

$$AWPI = P - PET \quad (۱۰)$$

در این پژوهش روند تغییرات شاخص آب پتانسیل در دسترس در دوره‌های زمانی ۲۰۲۳-۱۹۹۳، ۲۰۶۰-۲۰۳۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر شیب سن انجام شد. این آزمون ابتدا توسط من ارائه و بعد توسط کندال بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت ([Mann, 1945](#); [Kendall, 1975](#)). برای تأیید درستی و صحت تغییرات روند نیز از تخمین‌گر شیب سن استفاده شد. این روش نیز یک روش ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهده‌ای یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها محاسبه می‌کند ([Sen, 1968](#)).

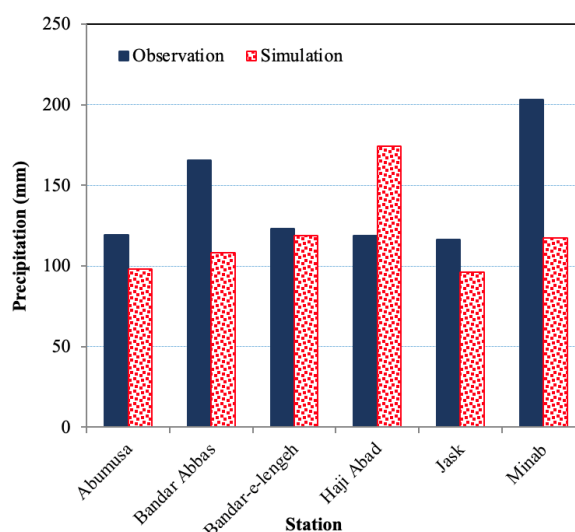
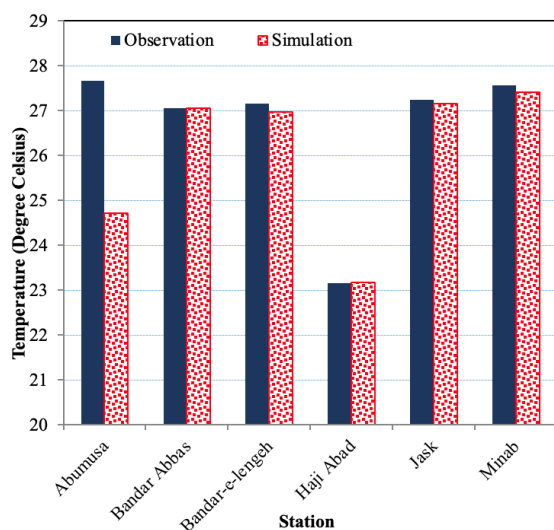
نتایج

در این پژوهش، ۱۴ مدل از CMIP6 با توجه به قدرت تفکیک مناسب و سناریوها و داده‌های هواشناسی مورد نیاز در دسترس، انتخاب گردید و پس از استخراج داده‌های دما و بارش برای منطقه مورد مطالعه به ارزیابی عملکرد و دقت این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای مورد بررسی در دوره پایه مدل‌ها (۲۰۱۴-۱۹۸۵) پرداخته شد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی دما نشان داد که براساس سنج RMSE دقت مدل‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۹۲ تا ۸/۵۷ و میزان R^2 نیز بین ۰/۹۵ تا ۰/۹۹ در تغییر است که کمترین و بیشترین دقت آن به ترتیب مربوط به مدل‌های MIROC6 و EC-Earth3-CC است. پس از مدل EC-Earth3-CC بیشترین دقت مربوط به مدل NorESM2-MM با RMSE برابر با ۱/۹۴ است. در مجموع براساس سنج‌های عملکردی مختلف دقت بیشتر مدل‌های CMIP6 مورد بررسی در شبیه‌سازی دما در منطقه مورد مطالعه بالاست (جدول ۳). بررسی عملکرد مدل در

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 مورد بررسی در شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه مورد مطالعه

Table 3- Evaluation of the performance of CMIP6 models investigated in the simulation of temperature and precipitation in the study area

No	Model	Temperature					Precipitation				
		R	R ²	MSE	RMSE	MAE	R	R ²	MSE	RMSE	MAE
1	ACCESS-ESM1-5	0.95	0.91	24.81	4.96	4.45	0.10	0.05	463.81	21.21	16.13
2	AWI-ESM-1-1-LR	0.99	0.98	6.97	2.53	2.29	0.46	0.28	246.31	15.35	10.54
3	CESM2-WACCM	0.99	0.97	6.97	2.41	2.08	0.60	0.37	140.25	11.59	8.59
4	CMCC-CM2-SR5	0.99	0.99	6.87	2.28	2.04	-0.24	0.07	212.19	17.29	12.50
5	CMCC-ESM2	0.99	0.99	6.52	2.17	1.95	0.15	0.04	297.57	16.86	12.25
6	EC-Earth3-CC	0.99	0.98	4.67	1.92	1.70	0.63	0.41	204.95	13.87	9.04
7	FGOALS-f3-L	0.98	0.96	13.22	3.45	3.26	0.85	0.73	230.06	12.93	9.36
8	GFDL-ESM4	0.99	0.98	12.70	3.23	2.89	0.45	0.20	211.23	14.31	10.27
9	INM-CM5-0	0.97	0.94	13.80	3.36	2.76	-0.15	0.18	286.44	16.44	13.94
10	MIROC6	0.98	0.96	76.38	8.57	6.98	0.35	0.12	263.26	18.57	12.42
11	MPI-ESM1-2-HR	0.99	0.98	7.22	2.49	2.23	0.69	0.50	217.39	14.19	9.43
12	MPI-ESM1-2-LR	0.99	0.98	10.08	3.12	2.69	0.51	0.35	253.54	15.53	10.17
13	MRI-ESM2-0	0.99	0.97	12.87	3.17	2.81	0.78	0.60	144.56	11.29	8.18
14	NorESM2-MM	0.99	0.99	5.86	1.94	1.83	0.62	0.46	144.93	11.61	8.84
14	Ensemble	0.99	0.99	4.5	1.9	1.7	0.7	0.50	144.5	11.6	8.9



شکل ۲- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی دما و بارش در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در طول دوره آماری پایه

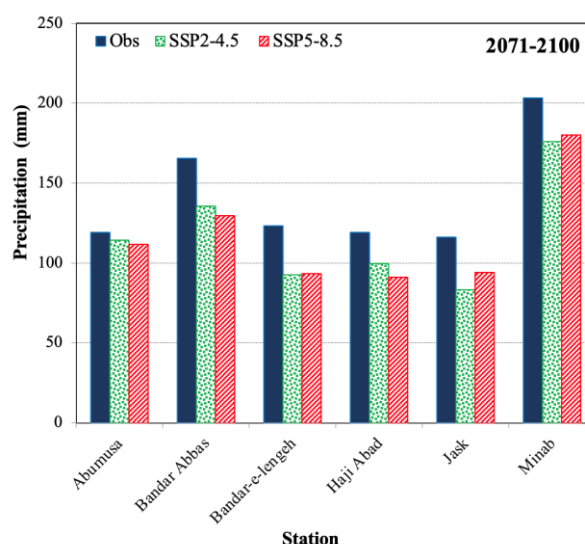
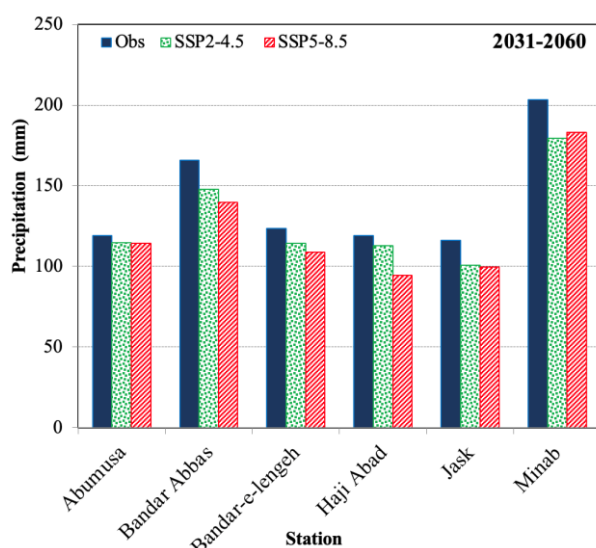
Figure 2- Observed and simulated values of temperature and precipitation in the studied meteorological stations during the basic statistical period

منطقه مورد مطالعه در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۱-۲۰۶۰) نسبت به دوره پایه براساس متوسط سناریوهای مورد بررسی ۳ تا ۱۶ درصد کاهش پیدا خواهد کرد که از نظر ایستگاهی بیشترین و کمترین تغییرات آن به ترتیب مربوط به

پس از همادی کردن مدل‌های منتخب، به پیش‌نگری تغییرات پارامترهای مورد بررسی در دو دوره آینده (۲۰۶۰-۲۰۳۱) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که بارش در

بارش در هر دو دوره آینده و براساس هر دو سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره پایه در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد که میزان آن به‌طور متوسط در دوره آینده نزدیک برابر با ۱۲/۲ درصد و در دوره آینده دور برابر با ۲۰/۷ درصد نسبت به دوره پایه خواهد بود (شکل ۳). بر این اساس، در آینده شاهد خشکی بیشتر و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها در منطقه مورد مطالعه خواهیم بود. نتایج حاصل از این بخش با یافته‌های [Parandin](#) و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر کاهش بارش و جریان در حوضه جামاش در استان هرمزگان و [Derakhshandeh](#) و همکاران (۲۰۲۴) مبنی بر کاهش بارندگی در سراسر کشور در دوره‌های آینده مطابقت دارد.

ایستگاه‌های جاسک و ابوموسی است. براساس نتایج به‌طور متوسط در استان هرمزگان در دوره مذکور بارش براساس سناریوی SSP2-4.5 به میزان ۹/۹۷ درصد و براساس سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۱۴/۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. در دوره آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) نیز میزان بارش به‌طور متوسط بین ۵/۵ تا ۳۲/۶ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که نسبت به دوره آینده نزدیک تغییرات شدیدتری را نشان می‌دهد. کمترین و بیشترین تغییرات نیز در این دوره مربوط به ایستگاه‌های ابوموسی و بندرلنگه است. تغییرات بارش به تفکیک سناریوهای مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که براساس سناریوی SSP2-4.5 بارش به میزان ۲۰ درصد و براساس سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۲۱/۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. در مجموع میزان



شکل ۳- تغییرات بارش در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره مشاهداتی به تفکیک سناریوهای مورد بررسی

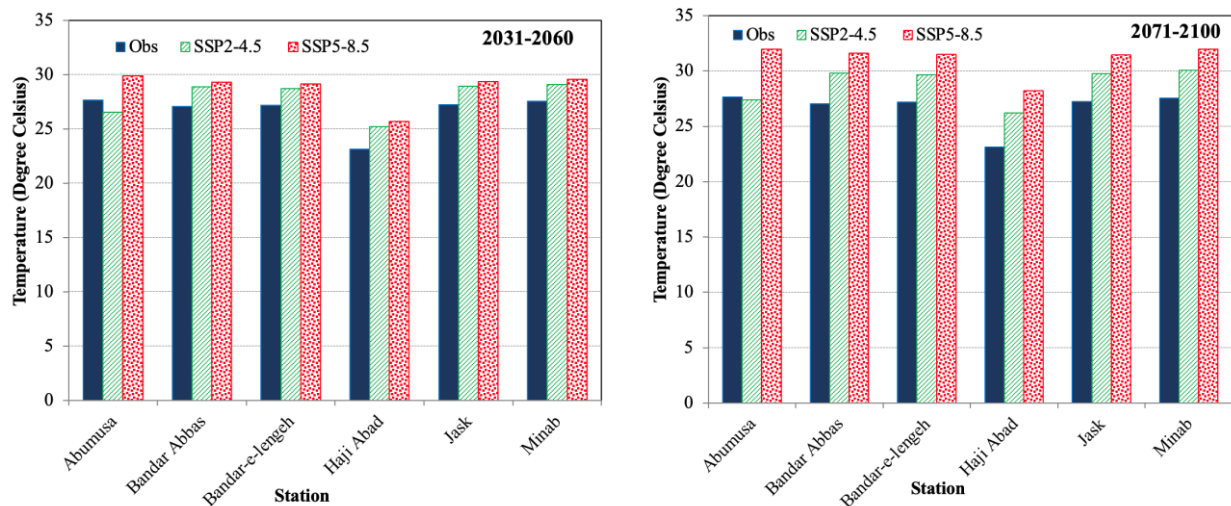
Figure 3- Precipitation changes in the studied weather stations in the future periods compared to the observation period, according to the studied scenarios.

نسبت به دوره پایه می‌رسد. بیشترین و کمترین تغییرات مذکور در هر دو دوره مورد بررسی به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های حاجی‌آباد و ابوموسی است. بررسی تغییرات دما به تفکیک سناریوهای مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که براساس

بررسی تغییرات دما نیز نشان داد که در دوره آینده نزدیک نسبت به دوره پایه، دما به‌طور متوسط در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۶ تا ۲/۳ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. این میزان در دوره آینده دور به ۲ تا ۴/۱ درجه سلسیوس افزایش

شدیدتر خواهد شد. به طوری که میزان تغییرات در دو دوره مذکور نسبت به دوره پایه به ترتیب به ۲/۲ و ۴/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت (شکل ۴).

سناریوی SSP2-4.5 میزان دما در منطقه مورد مطالعه در دو دوره آینده مورد بررسی (۲۰۳۱-۲۰۶۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه به ترتیب ۱/۳ و ۲/۲ درجه سلسیوس افزایش می یابد. این تغییرات براساس سناریوی SSP5-8.5

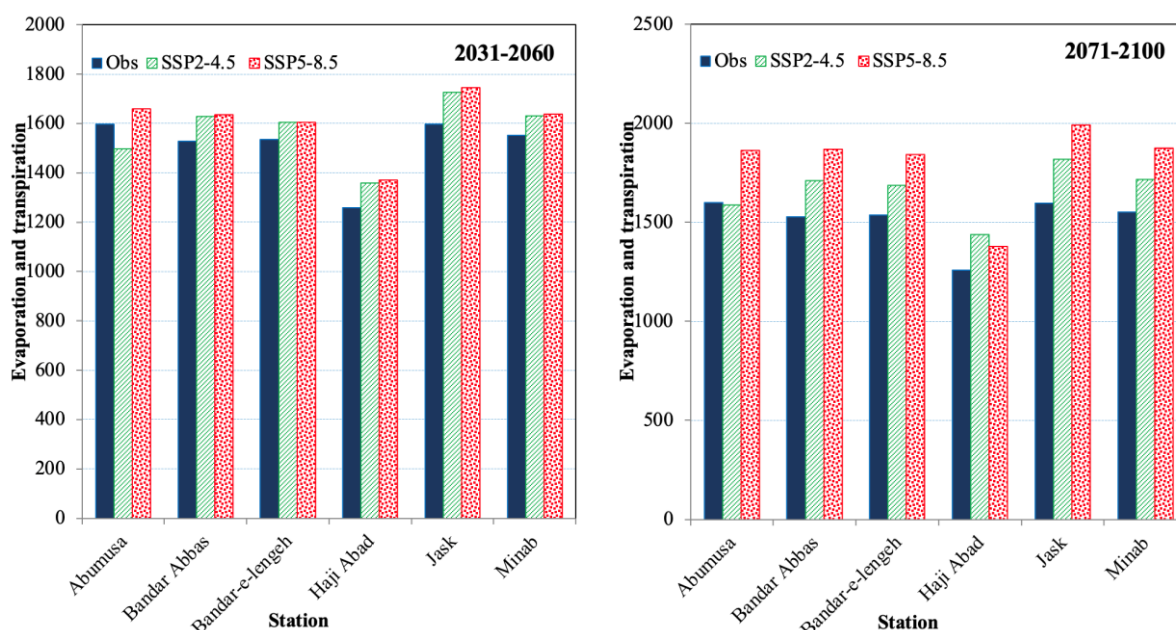


شکل ۴- تغییرات دما در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره مشاهداتی به تفکیک سناریوهای مورد بررسی

Figure 4- Temperature changes in the studied weather stations in the future periods compared to the observation period, according to the investigated scenarios.

و تعرق پتانسیل به روش تورنت وایت در استان هرمزگان برابر با ۱۵۱۲ میلی‌متر در سال است که میزان آن در دوره آینده نزدیک براساس سناریوی SSP2-4.5 به ۱۵۷۵ میلی‌متر (۴ درصد افزایش) و براساس سناریوی SSP5-8.5 به ۱۶۰۹ میلی‌متر (۶ درصد افزایش) می‌رسد. بر این اساس، متوسط افزایش تبخیر و تعرق در این دوره برابر با ۵ درصد خواهد بود. در دوره آینده دور شدت این تغییرات بیشتر شده، به طوری که متوسط تغییرات براساس سناریوهای مورد بررسی به ۱۲/۵ درصد می‌رسد. سناریوی SSP5-8.5 حتی این شدت را بیشتر و برابر با ۱۶/۱۵ درصد نشان می‌دهد. از نظر ایستگاهی نیز کمترین و بیشترین تغییرات مربوط به ایستگاه‌های ابوموسی و جاسک است (شکل ۵).

در مجموع براساس نتایج حاصل از بررسی هر دو سناریوی مورد بررسی، میزان بارش در استان هرمزگان در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی کاهش و میزان دما نیز افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل با مطالعات پرن‌دین و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر کاهش بارش در استان هرمزگان، Majidi و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر کاهش بارش و افزایش دما در بیشتر مناطق خاورمیانه و شمال آفریقا براساس متوسط مدل CMIP6 و مطالعات Mesgari و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر کاهش بارش در بیشتر مناطق ایران و خاورمیانه مطابقت دارد. پس از پیش‌نگری تغییرات دما و بارش به بررسی اثرهای آن بر میزان تبخیر و تعرق و آب پتانسیل در دسترس پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که متوسط تبخیر

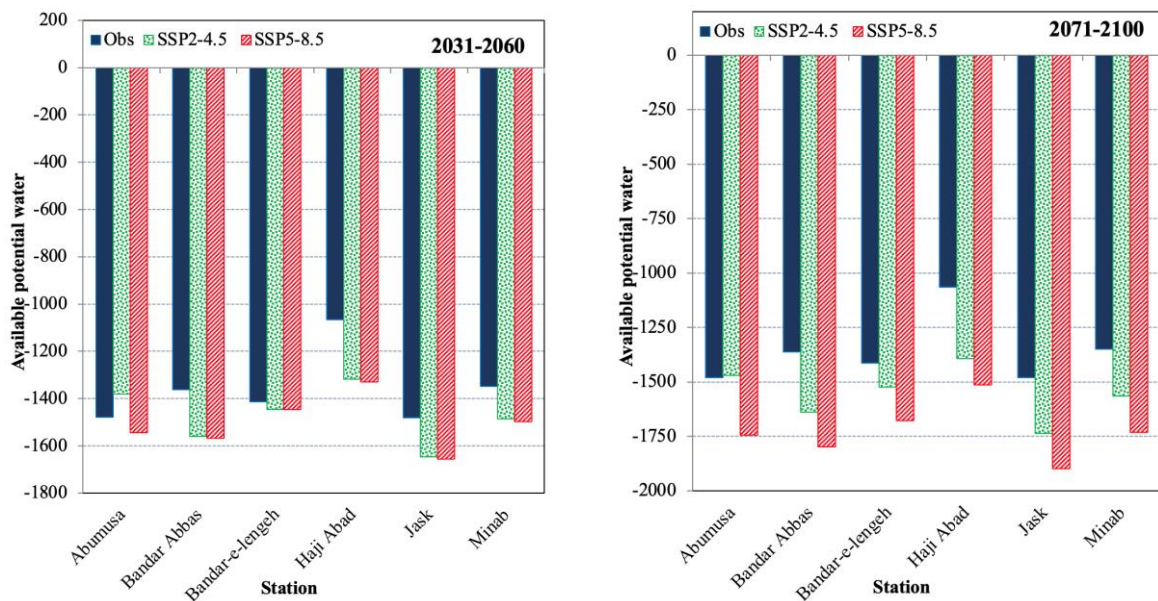


شکل ۵- تغییرات تبخیر و تعرق به روش تورنت وایت در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره مشاهداتی به تفکیک سناریوهای مورد بررسی

Figure 5- Changes in evaporation and transpiration by Torrent-White method in the meteorological stations under study in the future periods compared to the observation period according to the investigated scenarios.

کمبود آب در دسترس، در دوره آینده دور و میزان ۱۷/۳ درصد افزایش نسبت به دوره پایه اشاره دارد (شکل ۶). نتایج به دست آمده از اعمال آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن بر روی داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل و آب پتانسیل سالانه در دوره مشاهداتی (۱۹۹۳-۲۰۲۳) در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که تبخیر و تعرق پتانسیل در همه ایستگاه‌های مطالعاتی دارای تغییرات افزایشی بوده و آب پتانسیل در دسترس دارای تغییرات کاهشی می‌باشد. براساس آزمون من کندال تغییرات کاهشی و افزایشی متغیرهای مذکور به ترتیب در متغیر آب پتانسیل در دسترس در ایستگاه‌های بندرلنگه و جاسک و برای متغیر تبخیر و تعرق پتانسیل به غیر از ایستگاه حاجی آباد و ابوموسی که تغییرات از نوع نوسان‌های کوتاه مدت آب و هوایی است، تغییرات در سایر ایستگاه‌ها در سطح ۰/۰۵ معنی دار شده و از نوع روند در منطقه مورد مطالعه است.

بررسی آب پتانسیل در دسترس نشان می‌دهد با وجود اینکه منطقه مورد مطالعه در دوره مشاهداتی نیز با کمبود آب در دسترس مواجه است، با افزایش دما، کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق در دوره‌های آینده شدت این کمبود بیشتر خواهد شد. شاخص آب پتانسیل در دسترس در دوره پایه در استان هرمزگان برابر با ۱۳۵۸/۲- است که این میزان به طور متوسط در استان هرمزگان در دوره آینده نزدیک به ۱۴۸۹/۷- (۸/۹ درصد افزایش کمبود) خواهد رسید. براساس سناریوی SSP2-4.5 این میزان به ۱۴۷۳- (۷/۸ درصد افزایش کمبود) و براساس سناریوی SSP5-8.5 به ۱۵۰۶- (۱۰ درصد افزایش کمبود) می‌رسد. مقدار شاخص آب پتانسیل در دسترس در دوره آینده دور براساس سناریوی SSP2-4.5 به ۱۵۵۵- (۱۲/۶ درصد افزایش کمبود نسبت به دوره پایه) و براساس سناریوی SSP5-8.5 مقدار آب در دسترس کمتر و به ۱۷۲۷/۷- (۲۱/۵ درصد) خواهد رسید. همچنین نتایج به متوسط



شکل ۶- تغییرات آب پتانسیل در دسترس در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره مشاهداتی به تفکیک سناریوهای مورد بررسی

Figure 6- Changes in the available potential water in the studied weather stations in the future periods compared to the observation period, according to the investigated scenarios.

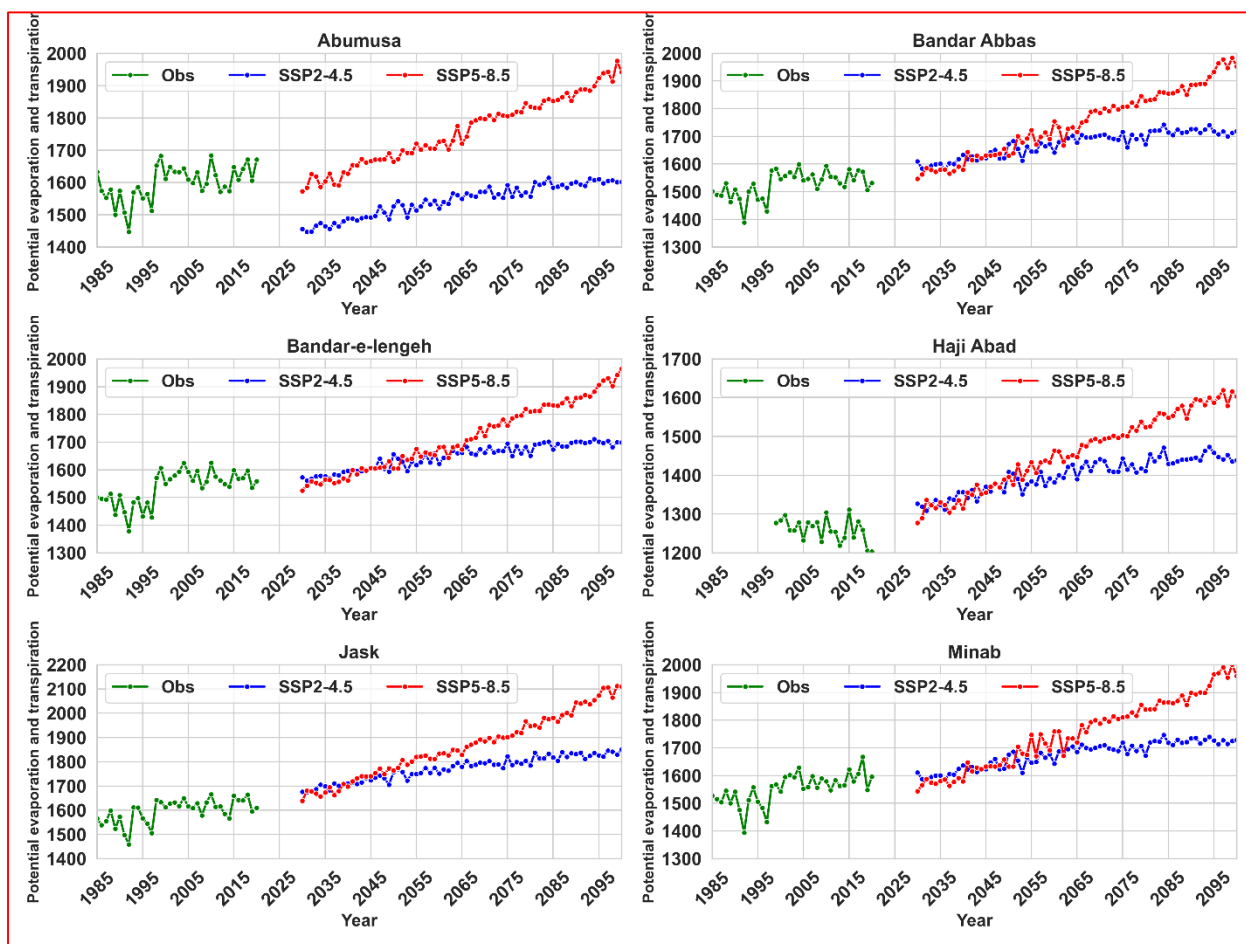
بررسی سری زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل در طول دوره مورد بررسی (۱۹۹۳ تا ۲۱۰۰) نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، میزان تبخیر و تعرق در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه افزایش قابل توجهی پیدا خواهد کرد که ناشی از افزایش دما در منطقه مورد مطالعه است. یادآوری می‌شود علاوه بر دما، عوامل اقلیمی دیگر مانند سرعت باد و تابش تأثیرگذار است. مقایسه سناریوهای مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که شدت تغییرات پیش‌نگری شده براساس سناریوی SSP5-8.5 بیشتر از سناریوی SSP2-4.5 است. به‌طورکلی، بررسی سری زمانی تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه در طول دوره بلندمدت (۱۹۹۳-۲۱۰۰) نشان می‌دهد که از ابتدای دوره آماری تا پایان دوره پیش‌نگری شده، میزان تبخیر و تعرق روند افزایشی داشته با این تفاوت که در دوره مشاهداتی میزان تغییرات با وجود نوسان‌های زیاد، کم اما در دوره آینده تغییرات شدیدتر و دارای نوسان کمتری خواهد بود و به‌طور منظم افزایش پیدا خواهد کرد (شکل ۷).

بیشترین شیب تغییرات افزایشی آب پتانسیل در دسترس مربوط به ایستگاه حاجی‌آباد با شیب سن برابر ۶/۵ و آماره من کندال برابر با ۱/۴۱ و بیشترین شیب تغییرات کاهشی نیز مربوط به ایستگاه بندرلنگه با شیب سن برابر با ۴/۵- و آماره من کندال ۲/۲۲- است. براساس نتایج، تغییرات آب پتانسیل در دسترس در منطقه مورد مطالعه بیشتر و شدیدتر از تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل است. بررسی روند تغییرات بارش نیز نشان داد که بارش در دوره مشاهداتی به‌جز ایستگاه‌های حاجی‌آباد و میناب به ترتیب با آماره من کندال برابر با ۱/۲۴ و ۰/۱ در سایر ایستگاه‌ها دارای تغییرات کاهشی است. تغییرات کاهشی و افزایشی مذکور در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها معنی‌دار نشده است و از نوع نوسانهای کوتاه‌مدت آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه است. بیشترین و کمترین شدت تغییرات بارش نیز براساس تخمین‌گر شیب سن مربوط به ایستگاه‌های دارای تغییرات افزایشی یعنی ایستگاه‌های حاجی‌آباد و میناب به ترتیب با شیب سن برابر با ۴/۹ و ۰/۱۳ است (جدول ۴).

جدول ۴- روند تغییرات بارش، تبخیر و تعرق و آب پتانسیل در دسترس در دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های مطالعاتی

Table 4- Changes in precipitation, evaporation and transpiration and available potential water during the observation period in the study stations

Variable	Station	Sen's Slope	Mann-Kendal	significance level
Water potential	Abumusa	-2.816	-1.51	
	Bandar-e-lengeh	-4.489	-2.22	*
	Bandar Abbas	-3.748	-1.73	+
	Haji Abad	6.534	1.41	
	Jask	-3.489	-2.41	**
	Minab	-2.312	-0.99	
Evapotranspiration	Abumusa	2.283	2.60	**
	Bandar-e-lengeh	3.115	3.09	**
	Bandar Abbas	2.108	2.68	**
	Haji Abad	-2.275	-1.92	+
	Jask	2.282	3.17	**
	Minab	4.02	-0.99	***
precipitation	Abumusa	-1.123	-0.91	
	Bandar-e-lengeh	-0.959	-0.64	
	Bandar Abbas	-2.003	-0.99	
	Haji Abad	4.883	1.24	
	Jask	-1.541	-1.29	
	Minab	0.131	0.10	

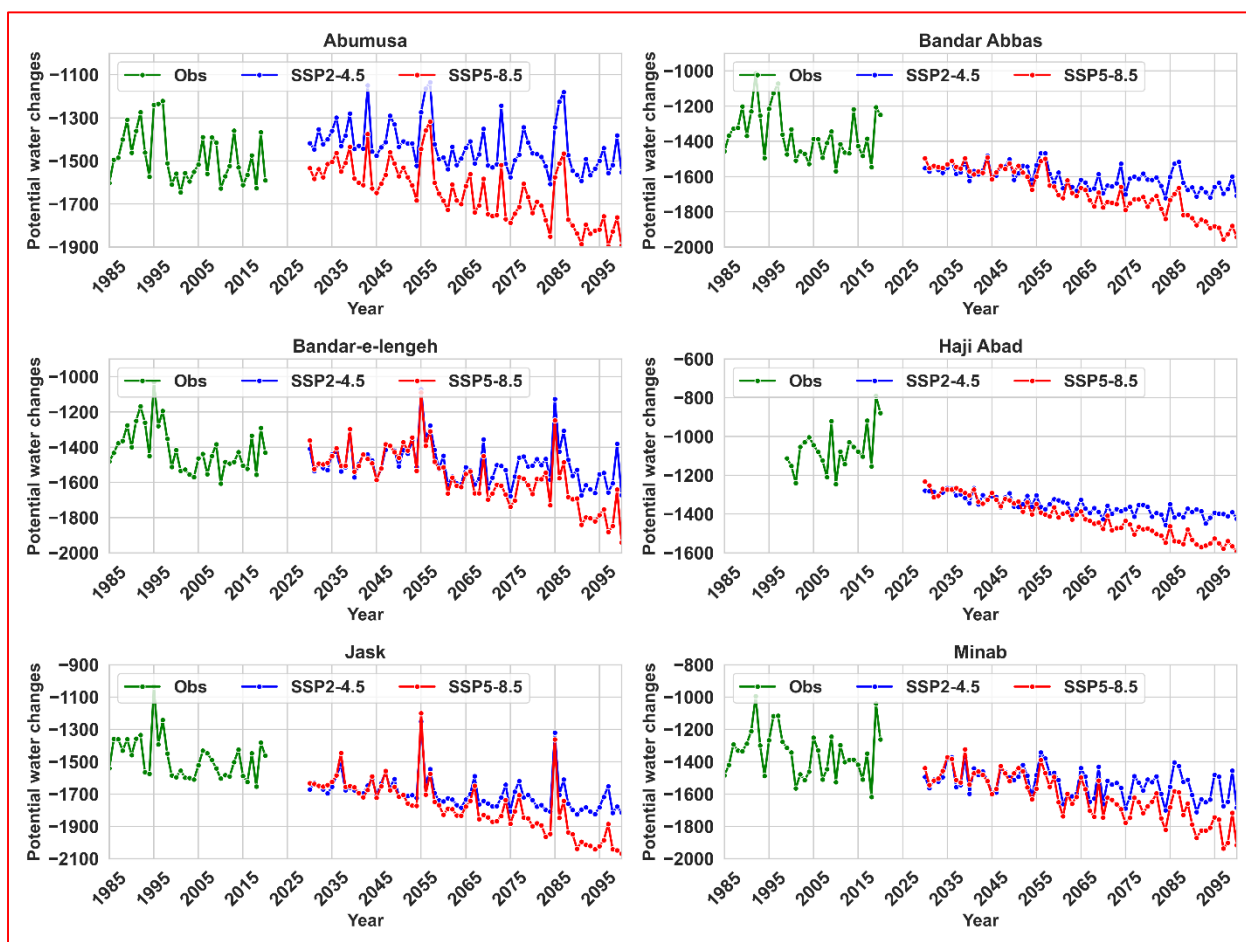


شکل ۷- سری زمانی تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در طول دوره مورد بررسی

Figure 7- Time series of potential evaporation and transpiration changes in the studied weather stations during the period under study

که منابع آب در دسترس در منطقه مورد مطالعه نیز به شدت کاهش پیدا خواهد کرد. براساس نتایج حاصل از شکل (۸) تغییرات کاهشی آب پتانسیل در دسترس براساس سناریوی SSP5-8.5 بیشتر و شدیدتر از سناریوی SSP2-4.5 است که می‌تواند ناشی از ویژگی‌هایی باشد که این سناریو به نمایش می‌گذارد و نگاه بدبینانه به وضعیت اقلیمی آینده دارد.

بررسی سری زمانی آب پتانسیل در دسترس نیز نشان می‌دهد که تفاوت قابل توجهی بین مقادیر پیش‌نگری شده این متغیر نسبت به دوره پایه وجود دارد. بدین صورت که شدت تغییرات در دوره‌های آینده براساس هر دو سناریوی مورد بررسی بیشتر شده است. بنابراین با توجه به مقادیر عددی و روند تغییرات سری زمانی آب پتانسیل و افزایش دما و تبخیر و تعرق و کاهش بارش در دوره‌های آینده، می‌توان بیان کرد



شکل ۸- سری زمانی تغییرات آب پتانسیل در دسترس در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در طول دوره مورد بررسی

Figure 8- Time series of potential water changes available in the studied meteorological stations during the studied period

نتیجه‌گیری

پیش‌نگری تغییرات دما و بارش برای اطلاع از میزان تغییرات آن در آینده و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرهای سوء ناشی از تغییرات آب و هوایی بر پتانسیل آب در دسترس از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. اهمیت پیش‌نگری بارش زمانی آشکارتر است که در جایگاه‌های جغرافیایی ریزش ناچیز یا قابل توجه و یا ناگهانی حجم زیادی از بارش رخ دهد. از این رو، با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی ۱۴ مدل CMIP6 و همادی کردن مدل‌های برتر به روش IWM در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش و پیش‌نگری تغییرات و اثرهای آنها بر پتانسیل آب در دسترس در استان هرمزگان تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-

8.5 در دو دوره زمانی آینده (۲۰۳۱-۲۰۶۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۳-۲۰۲۳) پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 مورد بررسی با استفاده از سنج‌های عملکردی مختلف نشان داد که روش همادی کردن مورد بررسی با در نظر گرفتن عدم قطعیت از دقت مناسبی نسبت به مدل‌های منفرد برای شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج حاصل از پیش‌نگری نشان داد که بارش به‌طور متوسط در دوره آینده نزدیک، ۱۲/۲ درصد و در دوره آینده دور، ۲۰/۷ درصد کاهش خواهد یافت. ولی در هر دو دوره مورد بررسی، میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که میزان آن در دوره آینده نزدیک برابر با ۱/۷ درجه سلسیوس و در دوره

تغییرات تبخیر و تعرق و آب پتانسیل در دسترس در کل دوره مورد بررسی (۲۱۰۰-۱۹۹۳) نیز بیانگر افزایش تبخیر و تعرق و کاهش منابع آب در دسترس هم در دوره مشاهداتی و هم در دوره پیش‌نگری شده براساس هر دو سناریوی مورد بررسی و با شدت بیشتر و نسبتاً منظم‌تر در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی است. از آنجایی که استان هرمزگان از مناطق گرم با ریزش کم بارش و با تبخیر و تعرق بالا محسوب می‌شود و براساس نتایج حاصل از سناریوهای مختلف در دوره‌های آینده، این استان با مشکل کاهش نزولات و افزایش دما و به طبع افزایش تبخیر روبه‌رو خواهد شد. از این‌رو، بحث کمبود آب و کاهش پتانسیل آب در دسترس در این استان در آینده جدی‌تر خواهد شد. بنابراین از نظر برنامه‌ریزی منابع آب و تعیین سیاست‌های بهره‌برداری و تخصیص منابع آب منطقه، لازم است بازنگری‌های اساسی انجام شود، زیرا میزان آب در دسترس با توجه به تغییرات اقلیمی مورد انتظار کاملاً تغییر خواهد کرد.

آینده دور برابر با ۳/۳ درجه سلسیوس نسبت به دوره مشاهداتی خواهد بود. این افزایش دما می‌تواند افزایش تبخیر و تعرق، افزایش بارش‌های رگباری و سیل‌آسا را به دنبال داشته باشد که این موضوع هم می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی استان و نیز افزایش خسارتهای ناشی از وقوع بارش‌های رگباری و نیز شسته شدن خاک‌های حاصلخیز شود. براساس نتایج به تبعیت از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل افزایش و میزان آب پتانسیل در دسترس نیز کاهش خواهد یافت که به‌طور متوسط سناریوهای مورد بررسی در دوره آینده نزدیک میزان تبخیر و تعرق، ۵ درصد و کمبود آب نیز ۸/۹ درصد افزایش و در دوره آینده دور تبخیر و تعرق، ۱۲/۵ درصد و کمبود آب نیز ۱۷/۳ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. یادآوری می‌شود این تغییرات براساس متوسط سناریوهای مورد بررسی و تغییرات براساس سناریوی SSP5-8.5 شدیدتر و بیشتر از سناریوی SSP2-4.5 است. بررسی سری زمانی

References

- Abdolizadeh, F., Mohammad Khorshiddoust, A. & Jahanbakhsh, S., 2022. Assessment of the performance of CMIP6 model for analysis of temperature and precipitation in Urmia Lake basin. *Climate Change Research*, 3(11): 17-30. (In Persian).
<https://doi.org/doi:10.30488/ccr.2022.361233.1093>
- Bai, H., Xiao, D., Wang, B., Liu, D. L., Feng, P. & Tang, J., 2020. Multi-model ensemble of CMIP6 projections for future extreme climate stress on wheat in the North China Plain, *International Journal of Climatology*, 40: 21-39.
<http://dx.doi.org/10.1002/joc.6674>
- Bishop, C. H. & Abramowitz, G., 2013. Climate model dependence and the replicate Earth paradigm. *Climate dynamics*, 41: 885-900. DOI: <http://doi:10.1007/s00382-012-1610-y>.
- Derakhshandeh, A., Khoorani, A. & Rezazadeh, M., 2024. Projecting spatiotemporal changes of precipitation over Iran using CORDEX regional climate models until 2100. *J Earth Syst Sci* 133, 7.
<https://doi.org/10.1007/s12040-023-02212-z>
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivan, H. & Barati, A., 2022. Investigating the Influence of Drought on Trend of Vegetation Changes in Arid and Semiarid Regions, Using Remote Sensing Technique: A Case Study of Hormozgan province). *Desert Ecosystem Engineering*, 9(28): 13-28. (In Persian).
<https://doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.11>.
- Feyissa, T. A., Demissie, T. D., Saathoff, F. & Gebissa, A., 2024. Hydrological responses projection to the potential impact of climate change under CMIP6 models scenarios in Omo River Basin, Ethiopia. *Results in Engineering*, 23 (2024) 102708.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102708>
- Ghorbani Minaei, L., Mosaedi, A., Zakerinia, M., Kalbali, E. & ghabaei soogh, M., 2024. Study of future climate change on the temperature and precipitation trends in Qarasu basin based on the CMIP6 models. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(2): 245-268. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.369146.669613>
- Goudarzi, M., Salahi, B. & Hoseini, A., 2015. Study on Effects of Climate Changes on Surface Runoff Changes Case Study: Urmia Lake Basin. *Iranian journal of Ecohydrology*, 2(2): 175-189. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/ije.2015.56152>

- Goudarzi, M., Salahi, B. & Hosseini, S. A., 2016. Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Downscaling Models In Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin. *Jwmseir*. 9 (31):11-22. (In Persian).
- Hardy, J.T., 2003. *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*. John Wiley & Sons, Ltd. 247 P.
- Helali, J., Momenzadeh, H., Salimi, S., Hosseini, S. A., Lotfi, M., Mohamadi, S. M., Maghami Moghim, Gh., Pazhoh, F. & Ahmadi, M., 2021. Synoptic-dynamic analysis of precipitation anomalies over Iran in different phases of ENSO. *Arab J Geosci* 14, 2322. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08644-5>
- Hu, T.S., Lam, K.C., Ng, S.T., 2001. River flow time series prediction with a range dependent neural network. *Hydrological Science Journal*, 46: 729-745. <https://doi.org/10.1080/02626660109492867>
- IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: *Climate Change the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Measures*. Charles Griffin, London, 272p.
- Khajeh amiri, C., Khosravi, M., Tavousi, T., Hamidianpour, M. & kiani moghadam, M., 2022. An analysis of the output performance of CMIP6 climate models in comparison with the observational data of Makran coast. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 5(1): 22-41. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1677100>
- Lei, X., Xu, C., Liu, F., Song, L., Cao, L. & Suo, N., 2023. Evaluation of CMIP6 Models and Multi-Model Ensemble for Extreme Precipitation over Arid Central Asia. *Remote Sensing*, 15(9): 2376. <https://doi.org/10.3390/rs15092376>
- Lenderink, G., Buishand, A. & van Deursen, W., 2007. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3): 1145–1159. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1145-2007>
- Lin, J.Y., Cheng, C.T. & Chau, K.W., 2006. Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological Science Journal*, 51: 599-612. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.51.4.599>
- Majdi, F., Hosseini, S.A., Karbalaee, A., Kaseri, M. & Marjanian, S., 2022. Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. *Theoretical and Applied Climatology*, 147: 1249–1262. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03916-2>
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 13, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Feyissa, S., Chavula, P. and Aschalew, A. (2024). Impacts of climate-smart soil and water conservation practices and slope gradient on selected soil chemical properties in Eastern Ethiopia: A case study of the Kulkullessa Sub-watershed, Goro Gutu District. *Nova Geodesia*, 4(3):186-186.
- Mesgari, E., Hosseini, S.A., Hemmesy, M. S., Houshyar, M. & Golzari Partoo, L., 2022. Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the MENAP region. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (10): 3607–3619. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.195>
- Mianabadi, A., Bateni, M. M. & Mohammadi, S., 2023. Projection of Change in the Distribution of Precipitation and Temperature Using Bias-Corrected Simulations of CMIP6 Climate Models (Case Study: Kerman Synoptic Station). *Climate Change Research*, 4(14): 65-84. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.30488/ccr.2023.399780.1139>
- Niroumandfard, F., khashei, A., Hashemi, R. & ghorbani, K., 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*, 53(9): 2009-2026. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.343936.669284>
- Palmer, T. E., Mc Sweeney, C. F., Booth, B. B. B., Priestley, M. D. K., Davini, P., Brunner, L., Borchert, L. & Menary, M. B., 2023. Performance-based sub-selection of CMIP6 models for impact assessments in Europe, *Earth Syst. Dynam.*, 14: 457–483. <https://doi.org/10.5194/esd-14-457-2023>
- Parandin, F., Khoorani, A. & Bazrafshan, O., 2019. The Impacts of Climate Change on Maximum Daily Discharge in the Payab Jamash Watershed, Iran. *Open Geosciences*, 11(1): 1035-1045. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0080>
- Qin, J., Su, B., Tao, H., Wang, Y., Huang, j. & Jiang, T., 2021. Projection of temperature and precipitation under SSPs-RCPs Scenarios over northwest China. *Front. Earth Sci.* 15: 23–37. <https://doi.org/10.1007/s11707-020-0847-8>
- Salahi, B., Goudarzi, M., Hosseini, S. A., 2017. Prediction of the Climate Parameters in the Urmia Lake Basin during 2011-2030. *Jwmseir*. 11 (37):47-56. (In Persian). <https://www.magiran.com/p1709032>
- Sari Sarraf, B., Rostamzadeh, H. & Mohamadi, N., 2024. Projection of Precipitation using CMIP6 Models Until the End of the 21st Century in the Northwest of Iran. *Journal of Geography and*

- Environmental Hazards, 13(1): 173-194. (In Persian).
<https://doi.org/10.22067/geoe.2022.76646.1223>
- Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American statistical association, 63(324): 1379-1389.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
 - Su, B., Huang, J., Mondal, S. K., Zhai, J., Wang, Y., Wen, S., Gao, M., Yanran, L., Jiang, S., Jiang, T. & Aiwei, L., 2021. Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in china. Atmospheric Research, 250, 105375p.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105375>
 - Sylla, M. B., Faye, A., Browne Klutse, N. A. & Dimobe, K., 2018. Projected increased risk of water deficit over major West African river basins under future climates. Climatic Change. 151, 247-258.
<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2308-x>
 - Yazdani, D., Zarrin, A. & Dadashi-Roudbari, A. A., 2024. Evaluation of bias correction methods in improving the direct model output of temperature in CMIP over Iran. Journal of the Earth and Space Physics, 50(2): 429-450. (In Persian).
https://jesphys.ut.ac.ir/article_95490.html
 - Zahabiyou, B., Goodarzi, M.R. & Massah Bavani, A.R., 2011. Application of SWAT model in the Ghare Sou river basin under climate change. Journal of climate research. 1 (3-4): 45-60. (In Persian).
<https://www.magiran.com/p1031735>
 - Zarezade Mehrizi, S. O., Khoorani, A., Bazrafshan, J. & Bazrafshan, O., 2018. Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Gamasiab river basin. Iranian journal of Ecohydrology, 5(3): 777-789. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/ije.2018.242453.732>
 - Zarrin, A. & Dadashi Roudbari, A. A., 2020. Projection the Long-Term Outlook Iran Future Temperature Based on the Output of The coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6). Journal of the Earth and Space Physics, 46(3): 583-602. (In Persian).
<https://doi.org/10.22059/jesphys.2020.304870.1007226>
 - Zhang, X., Hua, L., Jiang, D., 2022. Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang, China. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 15(2):100128p.
<https://doi.org/10.1016/j.aosl.2021.100128>