

## بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر وضعیت دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد طرق مشهد)

امجتبی سرابی<sup>۱</sup>، محمد تقی دستورانی<sup>۲\*</sup>، آذر زرین<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۳</sup> استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۶ ، تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۲۰

### چکیده

این مطالعه به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان پارامترهای دما و بارش حوضه آبخیز سد طرق با استفاده از ترکیب وزنی چهار مدل AOGCM از پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6) تحت سه سناریو SSP1-2.6 و SSP3-7.0 و SSP5-8.5 برای یک دوره پایه (۲۰۱۲-۱۹۹۳) و چهار دوره آینده می‌پردازد. در ابتدا به منظور راست‌آزمایی مدل‌ها از چند سنجه آماری و همچنین ضریب همبستگی برای مقایسه نتایج دوره تاریخی مدل‌ها با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب و همچنین میانگین حوضه آبخیز استفاده شد. بعد از اطمینان از توانایی هر چهار مدل در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش در محدوده حوضه مورد مطالعه، به منظور کاهش عدم قطعیت، نتایج هر چهار مدل با استفاده از روش وزن‌دهی MOTP ترکیب شد و مقدار وزن هر مدل به دست آمد. نتایج مطالعه حاکی از یک روند سینوسی تغییرات مقدار بارش برای سناریو SSP5-8.5 در دوره‌های مختلف می‌باشد، که شامل افزایش بارش در دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و کاهش در دو دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ می‌باشد. این در حالی است که مقدار بارش تحت سناریو SSP1-2.6 برای دوره اول تغییرات قابل توجهی نداشته است ولی برای دو دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ افزایش و برای دوره آخر کاهش را تجربه کرده است. این موضوع برای سناریو SSP3-7.0 شامل کاهش بارش برای تمامی دوره‌ها به جز دوره اول که تغییرات قابل توجهی نداشته است، می‌باشد. در رابطه با دما، پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده افزایش مقدار دمای حداقل و حداکثر تحت تمامی سناریوها و در تمامی دوره‌ها نسبت به دوره پایه است.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، همادی، SSP Scenarios، ISIMIP، CMIP6، MOTP

اجماع نظر در سطح جهانی در بین پژوهشگران اقلیمی بر این است که پدیده گرمایش زمین در حال رخ دادن است و بر اساس مطالعات گوناگون پارامترهای اقلیمی مختلف، مانند دما و بارش در حال تجربه تغییرات قابل توجه در نقاط مختلف دنیا هستند (آذری و همکاران، ۲۰۱۶). تغییرات آب و هوایی یک پدیده مستند و مورد تایید است که با تغییرات در الگوهای آب و هوایی شناخته می‌شود و به احتمال زیاد ادامه می‌یابد (د اولیویرا و همکاران، ۲۰۱۹). این تغییرات همان طور که اشاره شد، میتواند تاثیرات قابل توجهی بر پارامترهای اقلیمی داشته باشد و نهایتاً این تغییرات می‌تواند سایر اجزا یک سیستم مانند منابع آب و خاک را تحت تاثیر قرار دهد (هیپت و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹). لذا این موضوع اهمیت بررسی روند تغییرات پارامترهایی همچون دما و بارش را برای آگاهی از وضعیت آینده جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی دو چندان می‌کند. مطالعات مختلف در این زمینه برای بررسی وضعیت آینده اقلیمی عمدتاً به وسیله خروجی مدل‌های گردش عمومی جو صورت می‌گیرد، که بر حسب نیاز ممکن است توسط تکنیک‌ها و مدل‌های اقلیمی - منطقه‌ای برای محدوده خاصی، کوچک مقیاس شوند. شهری و همکاران (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای که به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در حوضه دشت ورامین پرداختند، افزایش دمای حداقل و حداکثر و تغییر در میزان و الگوی بارش را نشان دادند. زمان و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی SDSM تحت دو سناریو A2 و B2 به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش حوضه سیمینه رود پرداختند. نتایج شبیه‌سازی‌ها حاکی از کاهش تا ۴۰ درصدی بارش ماهانه و افزایش ۲ درجه سلسیوسی دما بود. منصوری و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیق خود در حوضه زربنه رود که تغییرات بارش را نیز بررسی کردند، از مدل LARS-WG برای کوچک مقیاس سازی خروجی ۱۴ مدل AOGCM برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۳۰ از ۶ ایستگاه

هواشناسی همدیدی استفاده کردند. نتایج آنها کاهش متوسط بارش ماهانه در فصل بهار و افزایش در فصل تابستان و پاییز را نشان داد. همچنین نتایج آنها نشان داد که علاوه بر تغییر مقدار بارش، الگو بارش نیز تغییراتی را تجربه خواهد کرد. بحری و دستورانی (۱۳۹۶)، در مطالعه خود در حوضه آبخیز اسکندری که از برون‌داد مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 برای بررسی تغییرات اقلیمی دهه ۲۰۲۰ استفاده کردند، افزایش ۷/۲ تا ۱۰/۹ درصدی متوسط بارش سالانه را پیش بینی کردند. زارعی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با هدف پیش بینی عناصر اقلیمی در ایستگاه هواشناسی همدیدی گرگان از مدل SDSM تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و RCP8.5 استفاده کردند. آنها برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، روند سالانه بارش را معنادار و کاهشی و در مورد عنصرهای دما معنادار و افزایشی گزارش کردند. کثیری و همکاران (۱۳۹۹)، برای بررسی چشم انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر از مدل جهانی CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده کردند. نتایج مطالعه حاکی از افزایش دمای حداقل و حداکثر و همچنین کاهش بارش برای تمامی ایستگاه‌ها به جز یک ایستگاه در تمامی دوره‌ها می‌باشد. زارعی و همکاران (۱۳۹۷)، که در تحقیق خود از سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای بررسی تغییرات اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند، افزایش متوسط دما در مقیاس سالانه را تحت هر سه سناریو بین ۱/۶ تا ۱/۸ درجه سلسیوس و افزایش بارش در فصول بهار و تابستان و کاهش بارش در فصل زمستان را گزارش کردند. عارف و علیجانی (۱۳۹۷)، در مطالعه خود در حوضه آبخیز یزد-اردکان از مدل SDSM برای بررسی تغییرات دما و بارش استفاده کردند. آنها افزایش دما به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس و کاهش ۸/۸ درصدی بارش را نشان دادند. سرپا و همکاران (۲۰۱۵)، با بررسی اثرات تغییرات آب و هوایی برای یک حوضه مرطوب و همچنین یک حوضه خشک مدیترانه‌ای در کشور پرتغال، کاهش بارش سالانه

درصدی بارش دوره (February-May) را پیش بینی کردند. شیفر و همکاران (۲۰۱۸)، که در تحقیق خود از خروجی پنج مدل گردش عمومی جو برای شبیه سازی شرایط آینده اقلیمی در حوضه آبخیز Ilala در شمال اتیوپی استفاده کردند، به ترتیب افزایش ۱/۷ و ۴/۷ درجه سلسیوسی دمای حداقل و حداکثر و عدم تغییرات قابل توجه بارش را نشان دادند.

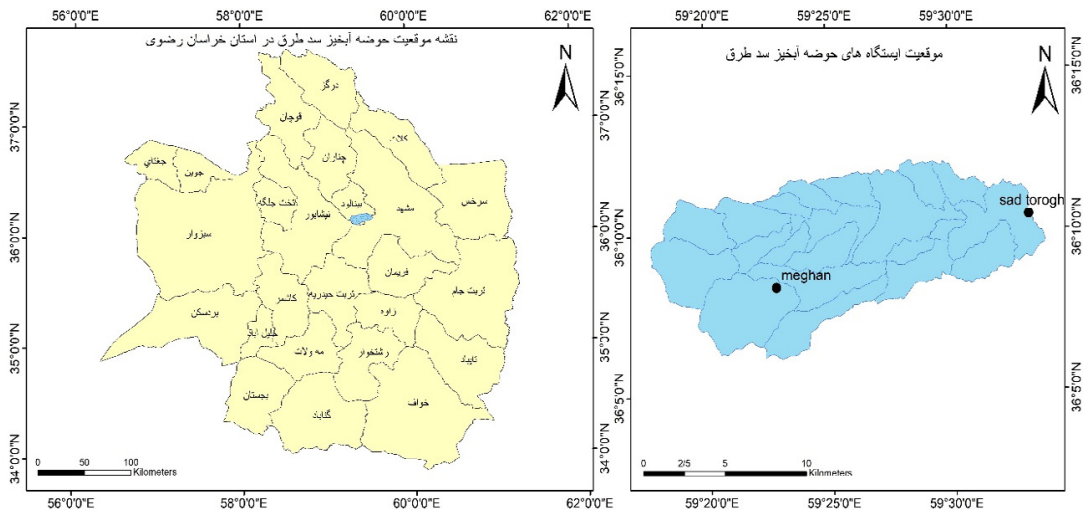
لازم به ذکر است که برونداد مدل‌های فاز ششم تغییر اقلیم (CMIP6) به تازگی انتشار یافته و در دسترس قرار گرفته‌اند. در این فاز از تلفیق واداشت گازهای گلخانه ای<sup>۱</sup> و خط سیرهای اجتماعی-اقتصادی جهت سناریوها استفاده شده است (ریاحی و همکاران، ۲۰۱۷). تاکنون کمتر مطالعه‌ای نتایج برونداد این مدل‌ها را بر وضعیت دما و بارش حوضه آبخیز بررسی کرده است. این مطالعه سعی دارد تغییرات آینده دما و بارش روی حوضه آبخیز سد طرق را با توجه به برونداد مدل‌های CMIP6 مورد بررسی قرار دهد.

### مواد و روش‌ها

حوضه آبخیز سد طرق در شمال شرق ایران و جنوب شهرستان مشهد و در دامنه‌های شمال شرقی زون ساختاری بینالود واقع شده است. محدوده مطالعاتی دارای مساحت ۱۶۳/۱۲ کیلومتر مربع و بین عرض جغرافیایی شمالی ۳۶° ۶' تا ۳۶° ۱۲' و طول جغرافیایی شرقی ۵۹° ۱۷' تا ۵۹° ۳۴' واقع شده است (شکل ۱). رودخانه طرق، یکی از شاخه‌های کشف رود و تأمین کننده آب سد طرق مشهد است. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک با میانگین دمای سالانه ۱۱/۵ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه ۲۹۸/۴۵ میلی‌متر است. متوسط حداقل دمای سالانه ۴/۴۸، متوسط حداکثر دمای سالانه ۱۸/۶۶ درجه سلسیوس می‌باشد. بیشترین بارش متوسط ماهانه حوضه مربوط به ماه اسفند به میزان ۵۴/۵ میلی‌متر است و در ماه‌های فصل تابستان مقدار بارش کمتر از ۹ میلی‌متر است. ارتفاع متوسط

را برای هر دو حوضه مرطوب (۱۲-٪) و خشک (۸-٪)، همراه با افزایش شدید بارش در فصل زمستان را پیش بینی کردند. موراتو و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی که به بررسی تأثیرات سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در هفده حوضه مدیریتانه‌ای از دو حوضه بزرگ رودخانه‌های Guadiana و Sado در پرتغال با استفاده از دو مدل گردش عمومی جو و سه مدل اقلیمی- منطقه‌ای برای آینده (دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱) تحت سناریو A2 پرداختند، تغییر بارش از ۱/۵+ تا ۶۵- درصد را نشان دادند. سینگ و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای با استفاده از دو مدل اقلیمی HadCM3 و CGCM3 و مدل کوچک مقیاس کننده SDSM تحت سناریوهای A1B، A2 و B2 به بررسی اثرات تغییر اقلیم در حوضه رودخانه Jzule در شمال غربی هیمالیا پرداختند. در مطالعه آنها افزایش کلی میانگین دما و بارش سالانه در هر دو مدل برای دوره‌های آینده پیش بینی شده است. نیلاور و همکاران (۲۰۱۹)، جهت بررسی تأثیرات تغییر اقلیم برای چهار دوره آینده از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در حوضه رودخانه Purna در هندوستان استفاده کردند. نتایج آنها یک روند افزایشی قابل توجه را برای بارش در هر دو سناریو نشان می‌دهد. احمدی و همکاران (۲۰۱۹)، در حوضه آبخیز kan در ایران با استفاده از مدل کوچک مقیاس کننده (SDSM)، داده‌های مدل CanESM2 را تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 کوچک مقیاس کردند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که دما در دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶ (۰/۸ تا ۵/۶ درجه سلسیوس) افزایش یافته است و میزان بارش در دوره پیش رو روند افزایشی را به طور متوسط سالانه تجربه خواهد کرد. فنتو و همکاران (۲۰۱۸)، از مجموعه‌های CORDEX-Africa تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، برای بررسی تغییرات دما و بارش در حوضه آبخیز Tekeze در اتیوپی استفاده کردند. آنها علاوه بر افزایش متوسط دما تا ۱/۰۷ و ۲/۲۱ درجه سلسیوس به ترتیب برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، افزایش ۴۸ درصدی بارش دوره‌های (June-September) و (October-January) و کاهش ۵۲

1 Greenhouse gas forcing



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز سد طرق

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
سد طرق	۱۲۱۰	۵۹° ۳۳' ۱۳"	۳۶° ۱۰' ۳۱"
مغان	۱۸۳۰	۵۹° ۲۲' ۳۰"	۳۶° ۸' ۱۱"
اولنگ اسدی	۹۰۴	۵۹° ۴۸' ۳۶"	۳۶° ۱۵' ۱۸"
مشهد	۱۰۱۰	۵۹° ۳۷' ۱۲"	۳۶° ۱۴' ۲۴"
جاغرق	۱۴۶۰	۵۹° ۱۹' ۱۲"	۳۶° ۱۸' ۳۶"
زشک	۱۸۲۰	۵۹° ۱۱' ۴۳"	۳۶° ۲۰' ۱۹"

سناریوهای SSP<sup>۳</sup> استفاده شد، که مدل‌های آن دارای اریبی تصحیح شده با تفکیک افقی  $0.44 \times 0.44$  درجه می‌باشند. حوضه مورد مطالعه در دو گرید از مدل‌های اقلیمی قرار می‌گیرد، که بنا به بررسی‌های انجام شده مانند شرایط توپوگرافی و راست‌آزمایی جهت انتخاب گرید مناسب، گریدی با مختصات عرض جغرافیایی شمالی  $36/25$  درجه و طول جغرافیایی شرقی  $59/25$  درجه جهت استخراج داده‌ها انتخاب شد. این بخش خود شامل دو مرحله می‌باشد که مرحله اول در برگیرنده بررسی مدل‌های موجود در پروژه مربوطه و تهیه داده‌های تاریخی دما و بارش این مدل‌ها به منظور بررسی درستی آن‌ها از طریق مقایسه با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های داخل حوضه آبخیز، اطراف حوضه و همچنین نماینده حوضه آبخیز (متوسط دما و بارش ایستگاه‌های طرق و مغان)

حوضه سد طرق  $1700/7$  متر، حداقل ارتفاع  $1261/4$  متر (در محل خروجی حوضه) و حداکثر ارتفاع هم  $2240/6$  متر از سطح دریا در مناطق مرتفع غربی می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های روزانه شش ایستگاه، شامل پنج ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی (اولنگ اسدی، جاغرق، مغان، زشک و طرق) و یک ایستگاه هواشناسی همدیدی (ایستگاه مشهد) استفاده شده است، که مشخصات آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

همان‌طور که اشاره شد این مطالعه به بررسی روند تغییرات دما و بارش در دهه‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم می‌پردازد. به منظور بررسی روند تغییر اقلیم، در این مطالعه از داده‌های دما و بارش روزانه مدل اثرات چند بخشی پروژه مقایسه مدل‌های گزارش ششم<sup>۲</sup> برای

3 Shared Socioeconomic Pathways

2 Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100 \quad (3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - A^{\text{mean}})^2} \quad (4)$$

در این روابط  $A_t$  نشان دهنده مقدار داده مشاهداتی (میانگین ماهانه مشاهداتی)،  $F_t$  نشان دهنده مقدار پیش بینی شده توسط مدل (میانگین ماهانه تاریخی مدل)، اندیس  $t$  نشان دهنده ماه‌های سال و  $n$  نشان دهنده تعداد ماه‌ها میباشد. هر چه مقدار خطاهای مذکور به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده درستی بیشتر مدل‌ها میباشد.

مبنای اصلی تصمیم‌گیری برای در نظر گرفتن مدل‌ها در مطالعه، عملکرد مدل‌ها در برآورد میانگین حوضه آبخیز (متوسط ایستگاه‌های طرق و مغان) میباشد. همچنین تعیین مقدار وزن مدل‌ها برای ماه‌های مختلف نیز بر اساس نتایج بخش مقایسه مدل‌ها با میانگین حوضه آبخیز حاصل شده است.

مرحله دوم (همادی سازی): در این مرحله به منظور کاهش خطاهای به دست آمده اقدام به همادی سازی مدل‌های منفرد و تشکیل تنها یک سری داده که از مجموعه ای از مدل‌ها تشکیل شده است، می‌شود، برای این منظور پس از تعیین وزن هر مدل با توجه به میزان تاثیرگذاری آن، اقدام به میانگین‌گیری وزنی از داده‌های مدل‌ها می‌شود. در این مطالعه از روش میانگین‌گیری وزنی MOTP استفاده شده است.

در این تحقیق از روش وزن‌دهی استفاده شده است، در این روش مدل‌های انتخاب شده بر اساس مقدار انحراف میانگین دما یا بارش شبیه سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن‌دهی می‌شوند:

می‌باشد و مرحله دوم در برگیرنده اجرای روش همادی سازی به منظور کاهش خطاها و افزایش همبستگی بین دوره تاریخی و داده‌های مشاهداتی است. اجرای تحقیق در دو مرحله بشرح ذیل انجام شد:

مرحله اول: در این مرحله ابتدا به شناسایی مدل‌های موجود در پروژه مربوطه که دارای داده‌های دما و بارش تاریخی و همچنین سناریوهای مورد نظر بودند، پرداخته شد. پس از انجام بررسی‌های صورت گرفته چهار مدل جهانی-اقلیمی GFDL-ESM4، IPSL-CM6A، MRI-ESM2-0 و MPI-ESM1-2-HR، LR مشخص شدند که دارای تمامی ویژگی‌های مد نظر بودند. در ادامه به منظور بررسی درستی این مدل‌ها برای منطقه مطالعاتی داده‌های تاریخی دما و بارش این مدل‌ها برای دوره پایه ۱۹۹۳-۲۰۱۲ به مدت ۲۰ سال تاریخی تهیه شد. این بازه زمانی به این دلیل انتخاب شد که اولاً دوره تاریخی مدل‌های CMIP6 تا ۲۰۱۴ است و ثانیاً برای تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی در این دوره آمار اندازه‌گیری شده موجود بود. پنج ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی شامل اولنگ اسدی، جافرق، مغان، زشک و طرق و یک ایستگاه هواشناسی همدیدی مشهد به منظور مقایسه دوره تاریخی مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی انتخاب شدند. برای این منظور میانگین داده‌های ماهانه تاریخی ۲۰ سال مدل‌ها در برابر میانگین داده‌های ماهانه مشاهداتی ۲۰ سال ایستگاه‌ها و همچنین نماینده حوضه آبخیز (متوسط دما و بارش ایستگاه‌های طرق و مغان که در داخل حوضه ولی در ارتفاعات متفاوت قرار دارند) قرار گرفت و از آماره‌های ضریب همبستگی ( $r$ )، میانگین قدرمطلق خطا (MAD)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، درصد میانگین مطلق خطا (MAPE) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE)، برای بررسی مقایسه‌ای استفاده شده است. آماره‌های مذکور به ترتیب با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شده‌اند.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (1)$$

مشاهداتی در دوره پایه به صورت ماهانه برای دو ایستگاه موجود در حوضه، سه ایستگاه نزدیک حوضه و همچنین برای میانگین حوضه آبخیز سد طرق مورد مقایسه قرار گرفت و سنجه‌های آماری  $MAD$ ،  $RMSE$ ،  $MAPE$  و  $NSE$  و همبستگی برای آنها محاسبه گردید. نتایج به دست آمده از عملکرد مدل‌ها در این پنج ایستگاه و میانگین حوضه در جدول (۲) و (۳) ارائه شده است.

به طور کلی نتایج به دست آمده از آماره‌ها حاکی از عملکرد نسبتاً مناسب مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه و اطراف حوضه آبخیز می‌باشد و از آنجایی که مبنای تصمیم‌گیری برای انتخاب مدل‌ها، عملکرد آنها در برآورد میانگین حوضه آبخیز می‌باشد، با توجه به نتایج به دست آمده در این بخش تصمیم بر این شد تا هر چهار مدل جهانی- اقلیمی برای مشارکت در مطالعه برای بررسی روند تغییرات دما و بارش در دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف وزن‌دهی و استفاده شوند. وزن‌های به دست آمده برای چهار مدل اقلیمی در ماه‌های مختلف در

$$W_i = \frac{(1/\Delta T_i)}{\sum_{i=1}^N (1/\Delta T_i)} \quad (5)$$

که در آن  $W_i$  وزن هر مدل در ماه مورد نظر،  $\Delta T_i$  انحراف میانگین طولانی مدت بارش شبیه سازی شده توسط هر یک از مدل‌های مطالعه در دوره پایه در ماه مورد نظر از میانگین داده‌های مشاهداتی و  $N$  نیز تعداد مدل‌های مورد استفاده در مطالعه می‌باشد. با جایگذاری مقادیر دما به جای بارش در رابطه بالا، وزن‌های متناظر با مقادیر دما به دست می‌آید (مساح بوانی، ۱۳۸۵).

### نتایج و بحث

#### ارزیابی عملکرد مدل‌های جهانی-اقلیمی

به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های جهانی-اقلیمی  $MPI$ ،  $IPSL$ ،  $CM6A-LR$ ،  $GFDL$ ،  $ESM4$  و  $ESM1-2-HR$  و  $MRI-ESM2-0$  در تولید داده‌های دما و بارش، دوره تاریخی این مدل‌ها با داده‌های

جدول ۲. مقادیر سنجه‌های آماری در دوره پایه برای متغیر بارش در ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	مدل	MAD	RMSE	MAPE	NSE	r
اولنگ اسدی	GFDL	2.286	2.881	40.117	0.943734	0.972736
	IPSL	3.431	4.589	39.807	0.857232	0.945694
	MPI	3.364	4.481	46.829	0.863888	0.951048
	MRI	2.242	3.152	45.368	0.932645	0.972602
مشهد	GFDL	3.225	4.015	21.59	0.934065	0.979854
	IPSL	2.889	4.145	16.306	0.929729	0.9812
	MPI	4.341	5.676	37.558	0.868237	0.979461
	MRI	2.59	3.756	21.224	0.942299	0.99138
سد طرق	GFDL	2.396	3.131	19.359	0.964478	0.984733
	IPSL	2.519	3.498	13.951	0.955664	0.981081
	MPI	3.267	4.441	28.137	0.928524	0.980119
	MRI	2.763	3.29	22.18	0.96077	0.985419
مغان	GFDL	5.803	7.45	23.924	0.875054	0.964475
	IPSL	5.539	7.295	20.717	0.880197	0.963264
	MPI	5.367	6.632	28.075	0.900989	0.964918
	MRI	6.075	7.748	24.797	0.864861	0.954902
جاغرق	GFDL	3.875	5.448	19.502	0.926688	0.96669
	IPSL	3.308	4.704	13.795	0.945331	0.975026
	MPI	4.992	6.383	25.103	0.899352	0.94954
	MRI	3.987	5.168	16.014	0.934034	0.96907
میانگین حوضه	GFDL	3.163	4.217	18.005	0.949384	0.979547
	IPSL	2.934	4.372	12.267	0.945595	0.978032
	MPI	3.248	4.37	19.85	0.945658	0.976773
	MRI	3.457	4.661	18.38	0.938161	0.973833
	ensemble	2.383	3.69	11.955	0.961252	0.984384

جدول ۳. مقادیر سنجه‌های آماری در دوره پایه برای متغیر دما

پارامتر	ایستگاه	مدل	MAD	RMSE	MAPE	NSE	r
دماي حداکثر	میانگین حوضه	GFDL	0.981	1.233	8.928	0.979743	0.998131
		IPSL	1.023	1.262	9.209	0.978784	0.998186
		MPI	1.112	1.399	10.137	0.973923	0.998284
		MRI	0.996	1.301	9.264	0.977466	0.998307
		ensemble	0.957	1.229	8.914	0.979876	0.998692
دماي حداقل	میانگین حوضه	GFDL	2.214	2.472	114.221	0.865343	0.997217
		IPSL	2.088	2.343	98.429	0.879045	0.996029
		MPI	2.274	2.497	117.431	0.862634	0.996562
		MRI	2.408	2.601	115.488	0.850959	0.996982
		ensemble	2.222	2.44	110.339	0.868889	0.997244

جدول ۴. وزن‌های چهار مدل اقلیمی برای متغیر بارش در ماه‌های مختلف

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
GFDL	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۸
IPSL	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۲۵
MPI	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۲۳
MRI	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۲۴

جدول ۵. وزن‌های چهار مدل اقلیمی برای متغیر دما در ماه‌های مختلف

پارامتر	مدل	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دماي حداکثر	GFDL	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۳۱
	IPSL	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۲
	MPI	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۱
	MRI	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۲۶
دماي حداقل	GFDL	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۲۵
	IPSL	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۸
	MPI	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۴
	MRI	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۲۳

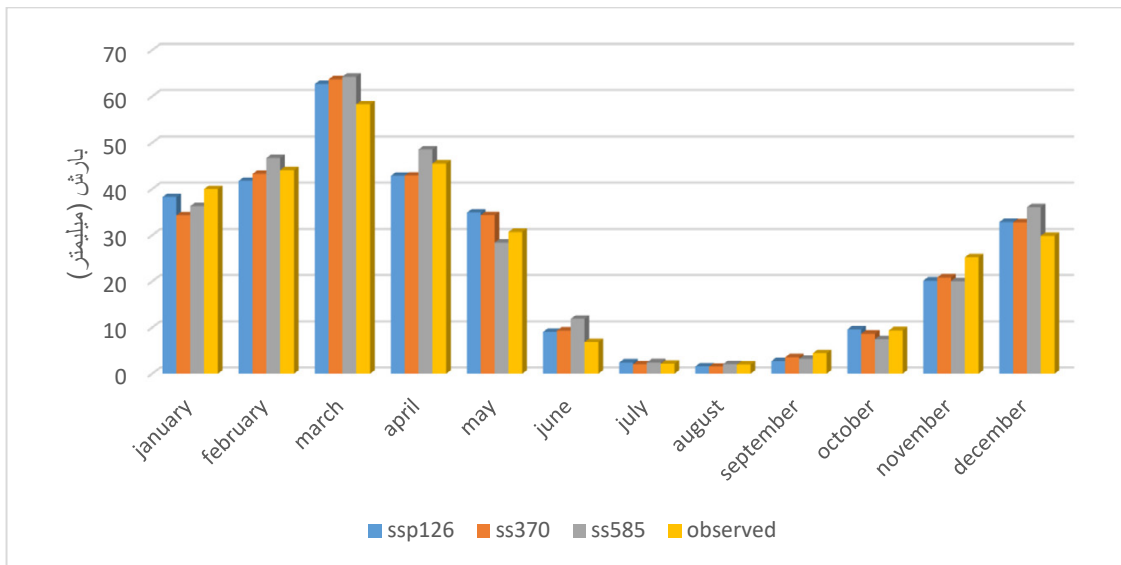
جدول (۴) و (۵) ارائه شده است.

۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-  
۲۰۸۱ از آنها استفاده شود.

### روند تغییرات بارش در دهه‌های آتی

با توجه به نتایج به دست آمده از عملکرد مدل‌های جهانی-اقلیمی در شبیه سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر روی حوضه سد طرق و ایستگاه‌های اطراف آن، تصمیم بر این شد تا هر چهار مدل جهانی-اقلیمی GFDL، IPSL، MPI و MRI برای مطالعه در نظر گرفته شود و در پروژه همادی سازی تحت سه سناریو شامل خوش بینانه (SSP1-2.6)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) برای چهار دوره

دوره آینده ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در این دوره تمامی سناریوها برای ماه‌های ژانویه، سپتامبر و نوامبر کاهش بارش و برای ماه‌های مارس، ژوئن و دسامبر افزایش بارش را پیش بینی کرده اند، این در حالی است که در سایر ماه‌ها نتایج متفاوتی در بین سناریوها مشاهده شده است (شکل ۲). در مقایسه میانگین بارش سالانه برای سناریوها در دوره مورد نظر نسبت به دوره پایه برای دو سناریو SSP1-2.6



شکل ۲. تغییرات میانگین بارش ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و دوره پایه

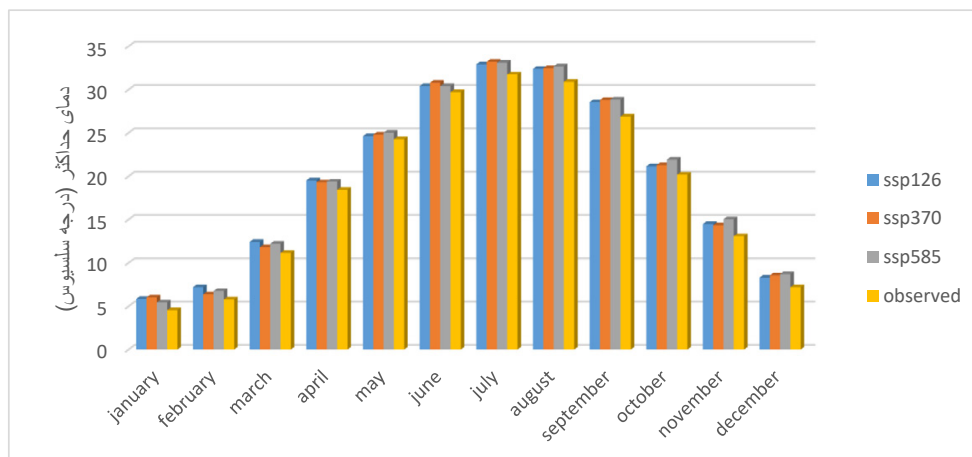
جدول ۶. تغییرات بارش فصلی در دوره پایه و تحت سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بر حسب میلیمتر

فصل	SSP1-2.6	SSP3-7.0	SSP5-8.5	Observed
زمستان	۱۴۲/۶۶	۱۴۱/۲۴	۱۴۷/۲۵	۱۴۲/۳۲
بهار	۸۶/۸۲	۸۶/۵۷	۸۸/۷۹	۸۳/۰۲
تابستان	۶/۷۴	۷/۱۴	۷/۷	۸/۶۲
پاییز	۶۲/۶۳	۶۲/۳	۶۳/۶۱	۶۴/۴۹

بارش در فصل زمستان هم تنها برای سناریو SSP5-8.5 یک مقدار افزایشی بوده است و در دو سناریو دیگر تغییرات قابل توجهی اتفاق نیفتاده است (جدول ۶). تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداکثر ماه‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماه‌ها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت می‌باشد (شکل ۳). تحت تمامی سناریوها، بیشترین مقدار افزایش مربوط به ماه سپتامبر (۱/۶۵، ۱/۹۱ و ۱/۹۷ درجه سلسیوس به ترتیب برای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5) می‌باشد، در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP3-7.0 مربوط به ماه مه (به ترتیب برابر با ۰/۳۴ و ۰/۵۲ درجه سلسیوس) و تحت سناریو SSP5-8.5 مربوط به ماه ژوئن (۰/۶۹ درجه سلسیوس) می‌باشد (جدول ۷). در این دوره میانگین دمای حداکثر سالانه

و SSP3-7.0 تغییرات قابل توجهی مشاهده نشد اما در سناریو SSP5-8.5 مقدار میانگین بارش سالانه دارای یک مقدار افزایشی بوده است. مقدار میانگین بارش سالانه برای دوره پایه ۲۹۸/۴۵ میلیمتر می‌باشد این در حالی است که مقدار میانگین بارش سالانه برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به ترتیب برابر ۲۹۷/۲۵، ۲۹۸/۸۵ و ۳۰۷/۳۵ میلیمتر بدست آمده است. از منظر تغییرات فصلی، مقدار بارش در فصل بهار برای تمام سناریوها افزایش پیدا کرده است که مقدار این افزایش بین ۴/۲۸ تا ۶/۹۵ درصد می‌باشد و این در حالی است که مقدار بارش برای فصول تابستان و پاییز برای تمام سناریوها کاهش پیدا کرده است که مقدار کاهش برای فصل تابستان بین ۱۰/۶۷- تا ۲۱/۸۱- درصد و برای فصل پاییز بین ۱/۳۶- تا ۳/۴- درصد می‌باشد. مقدار

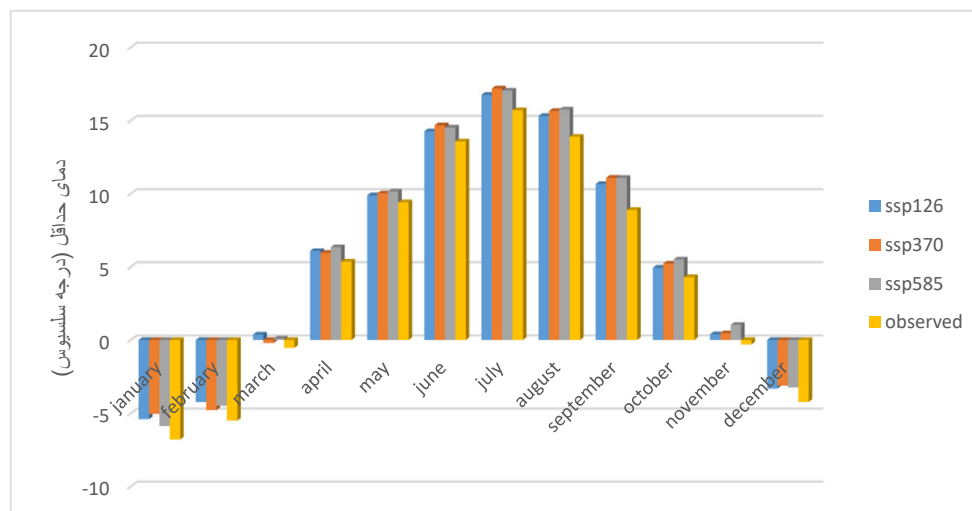




شکل ۳. تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و دوره پایه

جدول ۷. تغییرات دمای حداکثر ماهانه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه بر حسب درجه سلسیوس

مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۱/۲۸	۱/۴۲	۱/۲۵	۱/۱۱	۰/۳۴	۰/۶۹	۱/۱۸	۱/۵۰	۱/۶۵	۰/۹۵	۱/۴۰	۱/۰۹
	ssp3-7.0	۱/۴۵	۰/۵۸	۰/۶۶	۰/۸۸	۰/۵۲	۱/۰۷	۱/۴۷	۱/۵۸	۱/۹۱	۱/۰۸	۱/۲۶	۱/۳۶
	ssp5-8.5	۰/۸۹	۰/۹۶	۱/۰۵	۰/۹۶	۰/۷۴	۰/۶۹	۱/۳۷	۱/۷۸	۱/۹۷	۱/۷۱	۱/۹۵	۱/۵۰



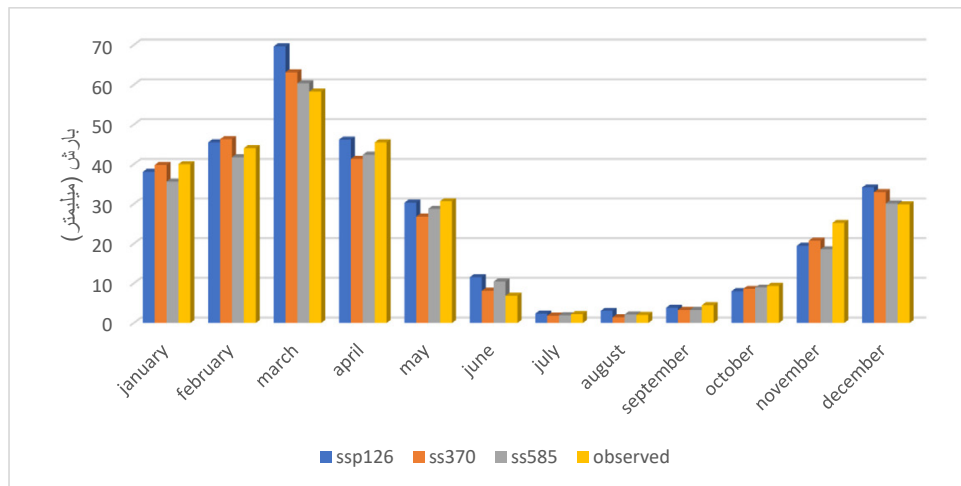
شکل ۴. تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و دوره پایه

دمای حداقل ماه‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماه‌ها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت می‌باشد (شکل ۴). تحت تمامی سناریوها، بیشترین مقدار افزایش مربوط به ماه

در دوره پایه، تحت سناریوهای ssp1-2.6، ssp3-7.0 و ssp5-8.5 به ترتیب ۶/۱۹، ۶/۱۷ و ۶/۹۵ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین

جدول ۸. تغییرات دمای حداقل ماهانه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه بر حسب درجه سلسیوس

مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۱/۳۹	۱/۲۵	۰/۹۲	۰/۷۲	۰/۴۷	۰/۷۱	۱/۰۶	۱/۴۱	۱/۷۷	۰/۶۴	۰/۷۰	۰/۹۲
	ssp3-7.0	۱/۷۵	۰/۷۲	۰/۳۳	۰/۵۹	۰/۶۲	۱/۱۱	۱/۴۹	۱/۷۴	۲/۱۹	۰/۹۲	۰/۷۸	۱/۱۲
	ssp5-8.5	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۶۳	۰/۹۹	۰/۷۵	۰/۹۶	۱/۳۵	۱/۸۵	۲/۱۸	۱/۲۰	۱/۳۵	۱/۰۰



شکل ۵. تغییرات میانگین بارش ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و دوره پایه

بین سناریوها مشاهده شده است (شکل ۵). در مقایسه میانگین بارش سالانه برای سناریوها در دوره مورد نظر نسبت به دوره پایه، دو سناریو SSP3-7.0 و SSP5-8.5 کاهش بارش و سناریو SSP1-2.6 افزایش بارش را پیش بینی کرده اند. مقدار میانگین بارش سالانه برای دوره پایه ۲۹۸/۴۵ میلیمتر میباشد در حالی که مقدار میانگین بارش سالانه برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ترتیب برابر ۳۱۲/۰۳، ۲۹۴/۱۷ و ۲۸۴/۱ میلیمتر بدست آمده است.

از منظر تغییرات فصلی، تحت سناریو SSP1-2.6 تمامی فصول به جز پاییز افزایش بارش را تجربه کرده اند، این در حالی است که تحت سناریو SSP3-7.0 به جز زمستان که روند افزایشی داشته است سایر فصول کاهش بارش را تجربه کرده اند و این موضوع تحت سناریو SSP5-8.5 شامل یک روند کاهشی برای تمامی فصول

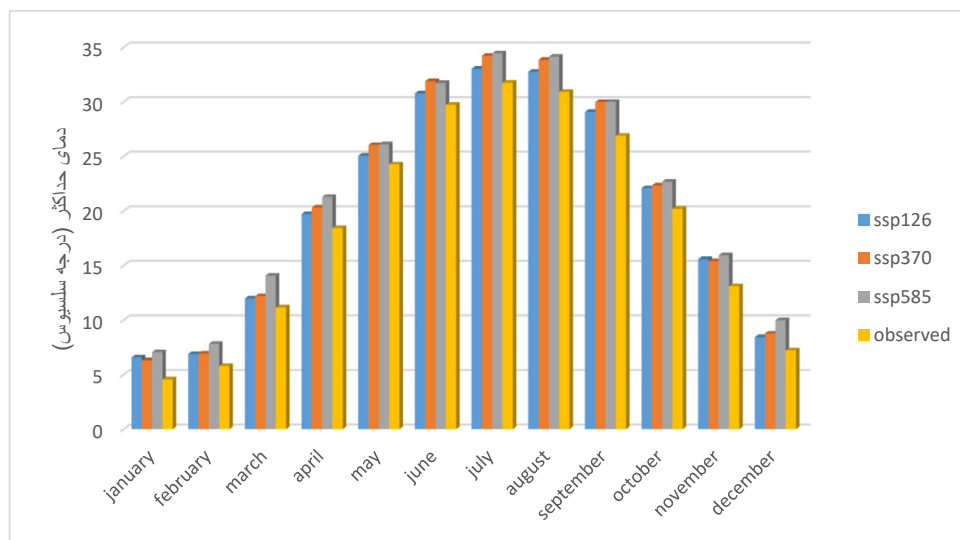
سپتامبر (۱/۷۷، ۲/۱۹ و ۲/۱۸ درجه سلسیوس به ترتیب برای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5) میباشد، در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت دو سناریو SSP3-7.0 و SSP5-8.5 مربوط به ماه مارس (به ترتیب برابر با ۰/۳۳ و ۰/۶۳ درجه سلسیوس) و تحت سناریو SSP1-2.6 مربوط به ماه مه (۰/۴۷ درجه سلسیوس) میباشد (جدول ۸). در این دوره میانگین دمای حداقل سالانه (۴/۴۸ درجه سلسیوس) در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۲۲/۲۱، ۲۴/۸۵ و ۲۶/۳۳ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

دوره آینده ۲۰۴۱-۲۰۶۰

در این دوره تمامی سناریوها برای ماههای ژانویه، مه، سپتامبر، اکتبر و نوامبر کاهش بارش و برای ماههای مارس، ژوئن و دسامبر افزایش بارش را پیش بینی کرده اند. این در حالی است که در سایر ماهها نتایج متفاوتی در

جدول ۹. تغییرات بارش فصلی در دوره پایه و تحت سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بر حسب میلیمتر

فصل	SSP1-2.6	SSP3-7.0	SSP5-8.5	Observed
زمستان	۱۵۳/۲۱	۱۴۹/۲۴	۱۳۷/۷۴	۱۴۲/۳۲
بهار	۸۸/۰۳	۷۶/۲۳	۸۱/۵۷	۸۳/۰۲
تابستان	۹/۲۱	۶/۴۶	۷/۲۹	۸/۶۲
پاییز	۶۱/۵۸	۶۲/۲۴	۵۷/۵	۶۴/۴۹



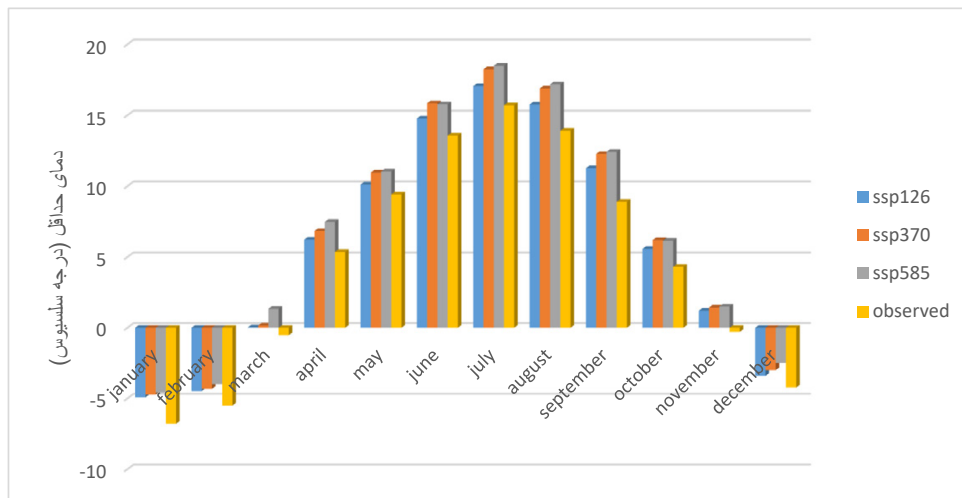
شکل ۶. تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و دوره پایه

شکل ۱۰. تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۶۱-۲۰۸۰) و دوره پایه

مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۲/۰۱	۱/۰۹	۰/۸۰	۱/۲۸	۰/۷۷	۱/۰۵	۱/۲۷	۱/۸۵	۲/۱۸	۱/۸۹	۲/۵۰	۱/۲۱
	ssp3-7.0	۱/۷۴	۱/۱۴	۱/۰۳	۱/۸۸	۱/۷۶	۲/۱۷	۲/۴۶	۲/۹۴	۳/۰۸	۲/۱۴	۲/۳۱	۱/۵۶
	ssp5-8.5	۲/۴۹	۲/۰۳	۲/۸۹	۲/۸۶	۱/۸۳	۲/۰۰	۲/۷	۳/۲۲	۳/۰۹	۲/۴۸	۲/۸۵	۲/۷۷

میباشد. برای تمامی سناریوها مقدار بارش در فصل پاییز کاهش پیدا کرده است که مقدار این کاهش بین ۳/۴۹- تا ۱۰/۸۴ درصد میباشد (جدول ۹).  
تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداکثر ماه‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماه‌ها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت میباشد (شکل ۶).  
بیشترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب مربوط به ماه‌های نوامبر (۲/۵۰ درجه سلسیوس)، سپتامبر (۳/۰۸ درجه سلسیوس) و اوت (۳/۲۲ درجه سلسیوس) میباشد. در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 مربوط به ماه مه (به ترتیب برابر با ۰/۷۷ و ۱/۸۳ درجه سلسیوس) و تحت سناریو SSP3-7.0 مربوط به ماه مارس (۱/۰۳ درجه سلسیوس) میباشد (جدول ۱۰). در این دوره میانگین دمای حداکثر سالانه

تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداکثر ماه‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماه‌ها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت میباشد (شکل ۶).  
بیشترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب مربوط به ماه‌های نوامبر (۲/۵۰ درجه سلسیوس)، سپتامبر (۳/۰۸ درجه سلسیوس) و اوت (۳/۲۲ درجه سلسیوس) میباشد. در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 مربوط به ماه مه (به ترتیب برابر با ۰/۷۷ و ۱/۸۳ درجه سلسیوس) و تحت سناریو SSP3-7.0 مربوط به ماه مارس (۱/۰۳ درجه سلسیوس) میباشد (جدول ۱۰). در این دوره میانگین دمای حداکثر سالانه



شکل ۷. تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و دوره پایه

جدول ۱۱. تغییرات دمای حداقل ماهانه در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نسبت به دوره پایه بر حسب درجه سلسیوس

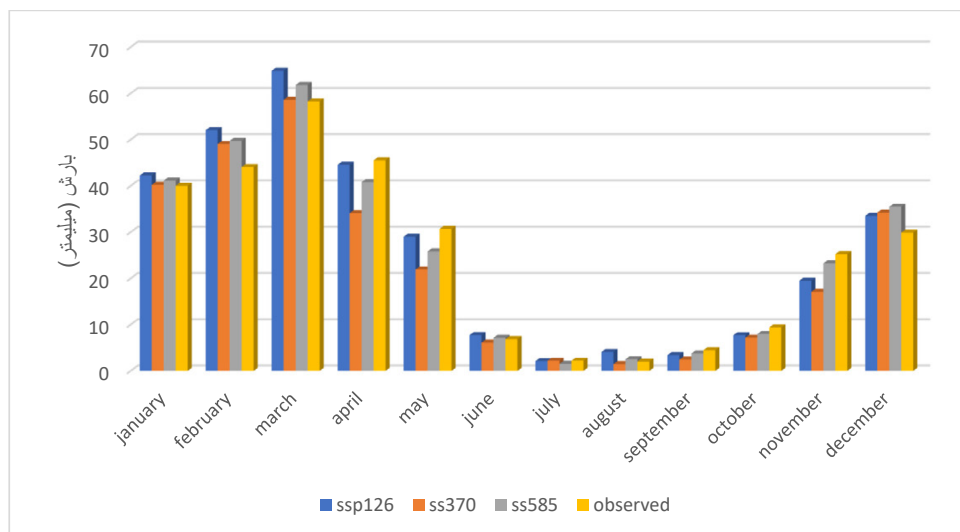
مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۱/۸۶	۱/۰۲	۰/۵۶	۰/۸۷	۰/۷۰	۱/۲۰	۱/۳۶	۱/۸۵	۲/۳۶	۱/۲۶	۱/۵۱	۰/۸۲
	ssp3-7.0	۲/۰۶	۱/۱۷	۰/۶۹	۱/۴۷	۱/۵۵	۲/۲۸	۲/۵۴	۳/۰۰	۳/۳۸	۱/۸۹	۱/۷۳	۱/۲۳
	ssp5-8.5	۲/۲۱	۱/۵۰	۱/۸۷	۲/۱۱	۱/۶۲	۲/۲۰	۲/۷۸	۳/۲۸	۳/۵۲	۱/۸۵	۱/۷۹	۱/۷۵

سلسیوس) میباشد (جدول ۱۱). در این دوره میانگین دمای حداقل سالانه (۴/۴۸ درجه سلسیوس) در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۲۸/۶۰، ۴۲/۷۲ و ۴۹/۲۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

#### دوره آینده ۲۰۸۰-۲۰۶۱

در این دوره تمامی سناریوها برای ماههای آوریل، مه، ژوئیه، سپتامبر، اکتبر و نوامبر کاهش بارش و برای کلیه ماههای فصل زمستان و دسامبر افزایش بارش را پیش بینی کرده اند. این در حالی است که برای دو ماه ژوئن و اوت نتایج متفاوتی در بین سناریوها مشاهده شده است (شکل ۸). در مقایسه میانگین بارش سالانه برای سناریوها در دوره مورد نظر نسبت به دوره پایه، دو سناریو SSP1-

(۱۸/۶۶ درجه سلسیوس) در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۸/۰۰، ۱۰/۸۱ و ۱۳/۹۴ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداقل ماههای مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماهها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت میباشد (شکل ۷). تحت تمامی سناریوها، بیشترین مقدار افزایش مربوط به ماه سپتامبر (۲/۳۶، ۳/۳۸ و ۳/۵۲ درجه سلسیوس به ترتیب برای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5) میباشد، در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP3-7.0 مربوط به ماه مارس (به ترتیب برابر با ۰/۵۶ و ۰/۶۹ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی SSP5-8.5 مربوط به ماه فوریه (۱/۵۰ درجه



شکل ۸. تغییرات میانگین بارش ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۸۰-۲۰۶۱) و دوره پایه

جدول ۱۲. تغییرات بارش فصلی در دوره پایه و تحت سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ بر حسب میلیمتر

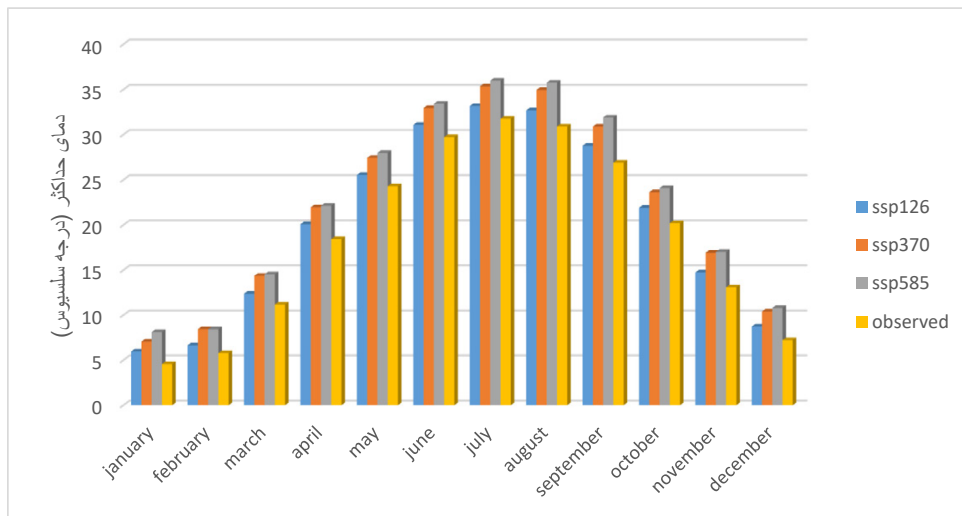
فصل	SSP1-2.6	SSP3-7.0	SSP5-8.5	Observed
زمستان	۱۵۹/۱۲	۱۴۷/۸	۱۵۲/۶۸	۱۴۲/۳۲
بهار	۸۱/۲۵	۶۲/۰۷	۷۳/۷۴	۸۳/۰۲
تابستان	۹/۵۴	۶/۰۲	۷/۷۳	۸/۶۲
پاییز	۶۰/۷۲	۵۸/۴۲	۶۶/۶۴	۶۴/۴۹

کرده اند (جدول ۱۲).

تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداکثر ماه‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماه‌ها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت می‌باشد (شکل ۹). بیشترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 مربوط به ماه سپتامبر (به ترتیب برابر با ۱/۸۶ و ۵/۰۰ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی SSP3-7.0 مربوط به ماه اوت (۴/۰۶ درجه سلسیوس) می‌باشد، در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 مربوط به ماه فوریه (به ترتیب برابر با ۰/۸۵ و ۲/۶۳ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی SSP3-7.0 مربوط به ماه ژانویه (۲/۴۸ درجه سلسیوس) می‌باشد (جدول ۱۳). در این دوره میانگین دمای حداکثر سالانه (۱۸/۶۶ درجه سلسیوس) در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب

SSP5-8.5 و SSP3-7.0 افزایش بارش و سناریو SSP3-7.0 کاهش بارش را پیش بینی کرده اند. مقدار میانگین بارش سالانه برای دوره پایه ۲۹۸/۴۵ میلیمتر می‌باشد این در حالی است که مقدار میانگین بارش سالانه برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ به ترتیب برابر ۳۱۰/۶۳، ۲۷۴/۳۱ و ۳۰۰/۷۹ میلیمتر می‌باشد.

از منظر تغییرات فصلی، مقدار بارش برای تمامی سناریوها در فصل زمستان افزایش پیدا کرده است که بیشترین مقدار آن مربوط به سناریوی SSP1-2.6 با ۱۱/۸ درصد افزایش می‌باشد. این در حالی است که تمامی سناریوها برای فصل بهار کاهش مقدار بارش را نشان می‌دهند، که بیشترین مقدار آن مربوط به سناریوی SSP3-7.0 با ۲۵/۲۳ درصد کاهش می‌باشد. برای فصل تابستان تنها سناریوی SSP1-2.6 و برای فصل پاییز تنها سناریوی SSP5-8.5 مقدار افزایش را پیش بینی



شکل ۹. تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت سناریو های مختلف (۲۰۶۱-۲۰۸۰) و دوره پایه

جدول ۱۳. تغییرات دمای حداکثر ماهانه در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه بر حسب درجه سلسیوس

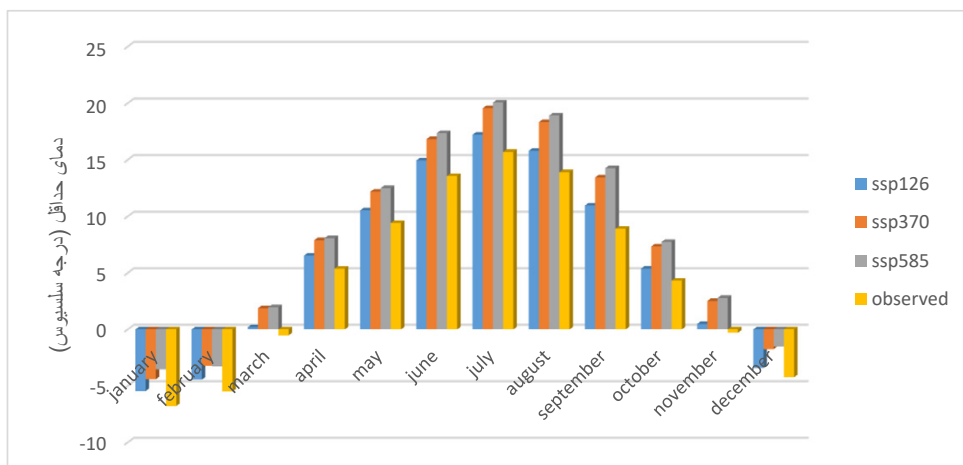
مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۱/۴۰	۰/۸۵	۱/۲۱	۱/۶۵	۱/۲۶	۱/۳۷	۱/۴۱	۱/۷۸	۱/۸۶	۱/۷۲	۱/۶۵	۱/۵۲
	ssp3-7.0	۲/۴۸	۲/۶۳	۳/۲۰	۳/۵۴	۳/۱۵	۳/۲۳	۳/۶۰	۴/۰۶	۴/۰۰	۳/۴۳	۳/۸۳	۳/۱۹
	ssp5-8.5	۳/۵۴	۲/۶۳	۳/۳۶	۳/۷۱	۳/۷۰	۳/۷۰	۴/۲۲	۴/۸۴	۵/۰۰	۳/۸۹	۳/۹۲	۳/۵۸

دمای حداقل سالانه (۴/۴۸ درجه سلسیوس) در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۲۷/۶۶، ۶۸/۴۷ و ۷۷/۱۳ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

دوره آینه ۲۰۸۱-۲۱۰۰

در این دوره تمامی سناریوها برای ماههای آوریل، مه، ژوئیه، سپتامبر و نوامبر کاهش بارش و تنها برای ماه ژوئن افزایش بارش را پیش بینی کرده اند. این در حالی است که در سایر ماهها نتایج متفاوتی در بین سناریوها مشاهده شده است (شکل ۱۱). در مقایسه میانگین بارش سالانه برای سناریوها در دوره مورد نظر نسبت به دوره پایه، تمامی سناریوها کاهش بارش را پیش بینی کرده

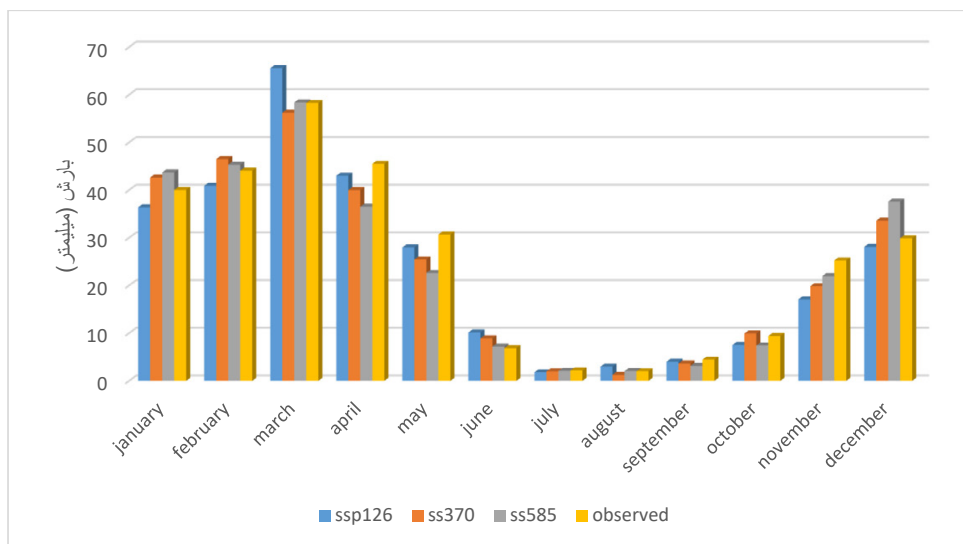
۷/۹۰، ۱۸/۰۱ و ۲۰/۵۷ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداقل ماههای مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماهها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت میباشد (شکل ۱۰). تحت تمامی سناریوها، بیشترین مقدار افزایش مربوط به ماه سپتامبر (۲/۰۵، ۴/۵۵ و ۵/۳۵ درجه سلسیوس به ترتیب برای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5) میباشد، در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 مربوط به ماه فوریه (به ترتیب برابر با ۲/۳۰ و ۲/۲۲ درجه سلسیوس) و تحت سناریو SSP1-2.6 مربوط به ماه مارس (۰/۷۳ درجه سلسیوس) میباشد (جدول ۱۴). در این دوره میانگین



شکل ۱۰. تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۶۱-۲۰۸۰) و دوره پایه

جدول ۱۴. تغییرات دمای حداقل ماهانه در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه بر حسب درجه سلسیوس

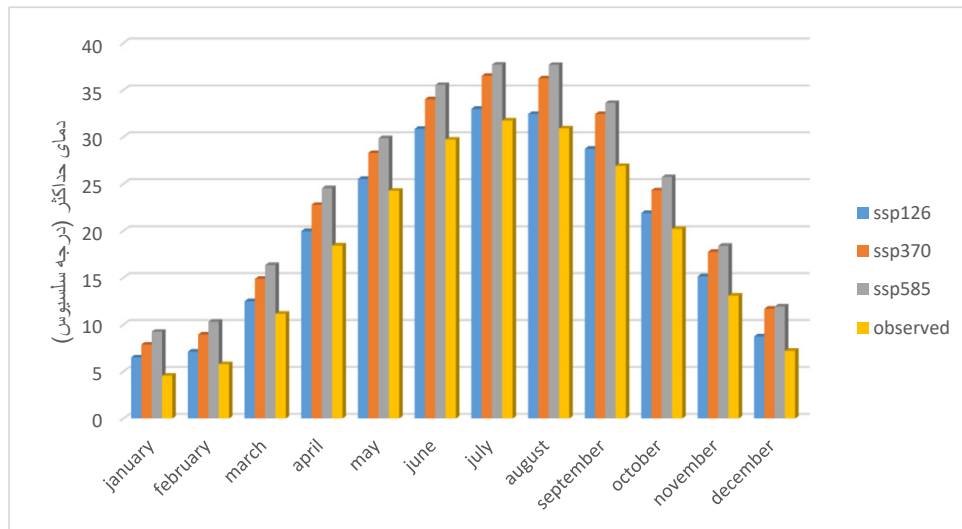
مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۱/۳۴	۱/۰۴	۰/۷۳	۱/۱۵	۱/۱۲	۱/۳۷	۱/۵۱	۱/۹۰	۲/۰۵	۱/۰۶	۰/۷۸	۰/۸۲
	ssp3-7.0	۲/۳۸	۲/۳۰	۲/۴۰	۲/۵۴	۲/۷۷	۳/۲۷	۳/۸۵	۴/۴۳	۴/۵۵	۳/۰۳	۲/۸۲	۲/۴۸
	ssp5-8.5	۳/۲۵	۲/۲۲	۲/۴۸	۲/۷۱	۳/۰۹	۳/۷۸	۴/۳۶	۵/۰۱	۵/۳۵	۳/۴۳	۳/۰۸	۲/۷۲



شکل ۱۱. تغییرات میانگین بارش ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۸۱-۲۱۰۰) و دوره پایه

جدول ۱۵. تغییرات بارش فصلی در دوره پایه و تحت سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بر حسب میلیمتر

فصل	SSP126	SSP370	SSP585	Observed
زمستان	۱۴۲/۸۳	۱۴۵/۳۶	۱۴۷/۳۸	۱۴۲/۳۲
بهار	۸۱/۱۳	۷۴/۲۹	۶۶/۲۷	۸۳/۰۲
تابستان	۸/۷۳	۶/۸۴	۷/۲۳	۸/۶۲
پاییز	۵۲/۶۷	۶۳/۳۱	۶۶/۸۷	۶۴/۴۹



شکل ۱۲. تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۸۱-۲۱۰۰) و دوره پایه

۲.۶ قابل توجه نبوده است. فصل پاییز نیز به جز سناریوی SSP5-8.5 که روند افزایشی دارد، در دو سناریوی دیگر کاهش بارش را تجربه خواهد کرد (جدول ۱۵).

تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداکثر ماه‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماه‌ها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت می‌باشد (شکل ۱۲). بیشترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب مربوط به ماه‌های نوامبر (۲/۰۷ درجه سلسیوس)، سپتامبر (۵/۵۵ درجه سلسیوس) و اوت (۶/۷۹ درجه سلسیوس) می‌باشد، در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 مربوط به ماه فوریه (به ترتیب برابر با ۳/۱۵ و ۴/۵۲ درجه سلسیوس) و تحت

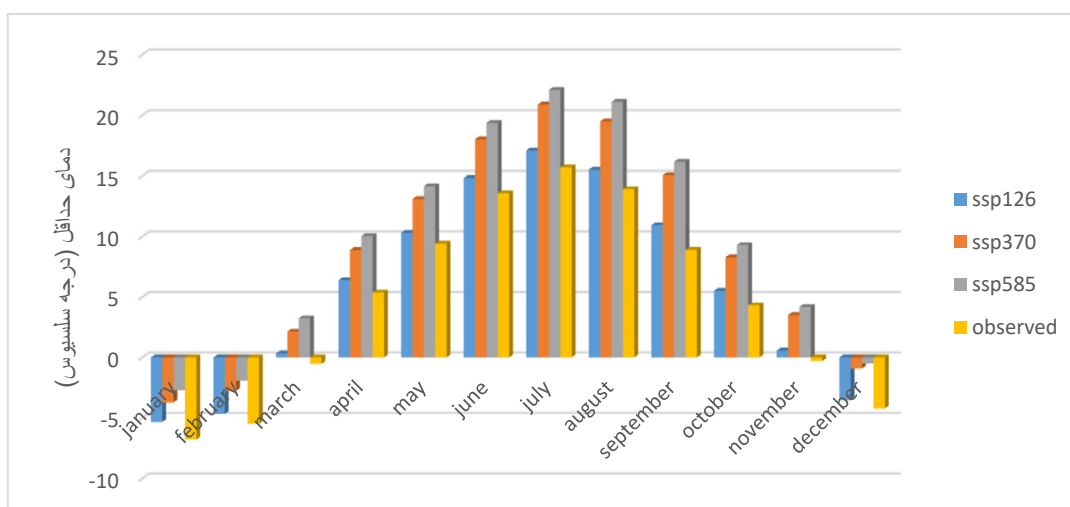
اند. مقدار میانگین بارش سالانه برای دوره پایه ۲۹۸/۴۵ میلیمتر می‌باشد، این در حالی است که مقدار میانگین بارش سالانه برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0، SSP5-8.5 و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ترتیب برابر ۲۸۵/۳۶، ۲۸۹/۸ و ۲۸۷/۷۵ میلیمتر می‌باشد.

از منظر تغییرات فصلی، مقدار بارش برای تمامی سناریوها در فصل زمستان دارای یک مقدار افزایشی بوده است، که بیشترین مقدار آن مربوط به سناریوی SSP5-8.5 با ۳/۵۶ درصد افزایش می‌باشد. این در حالی است که تمامی سناریوها برای فصل بهار کاهش مقدار بارش را نشان می‌دهند، که بیشترین مقدار آن مربوط به سناریوی SSP5-8.5 با ۲۰/۱۸- درصد کاهش می‌باشد. برای فصل تابستان دو سناریو SSP5-8.5 و SSP3-7.0 کاهش بارش را پیش بینی کرده اند و تغییرات تحت سناریو SSP1-



جدول ۱۶. تغییرات دمای حداکثر ماهانه در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه بر حسب درجه سلسیوس

مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۱/۹۴	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۵۴	۱/۲۴	۱/۱۴	۱/۲۵	۱/۵۴	۱/۸۵	۱/۷۰	۲/۰۷	۱/۵۳
	ssp3-7.0	۳/۳۲	۳/۱۵	۳/۷۲	۴/۳۵	۴/۰۲	۴/۳۱	۴/۷۸	۵/۳۳	۵/۵۵	۴/۱۳	۴/۶۸	۴/۴۸
	ssp5-8.5	۴/۶۹	۴/۵۲	۵/۲۰	۶/۱۲	۵/۶۰	۵/۸۳	۵/۹۶	۶/۷۹	۶/۷۲	۵/۵۳	۵/۳۰	۴/۷۱



شکل ۱۳. تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۸۱-۲۱۰۰) و دوره پایه

سپتامبر (۲/۰۳، ۶/۱۶ و ۷/۲۷ درجه سلسیوس به ترتیب برای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5) میباشد، در حالی که کمترین مقدار افزایش تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب مربوط به ماههای دسامبر (۰/۷۰ درجه سلسیوس)، مارس (۲/۶۷ درجه سلسیوس) و فوریه (۳/۵۷ درجه سلسیوس) میباشد (جدول ۱۷). در این دوره میانگین دمای حداقل سالانه (۴/۴۸ درجه سلسیوس) در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۲۶/۲۳، ۸۹/۵۷ و ۱۱۲/۸۲ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

سناریو SSP1-2.6 مربوط به ماه ژوئن (۱/۱۴ درجه سلسیوس) می باشد (جدول ۱۶). در این دوره میانگین دمای حداکثر سالانه (۱۸/۶۶ درجه سلسیوس) در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۸/۲۵، ۲۳/۱۳ و ۲۹/۹۰ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

تحت تمامی سناریوها در این دوره مقدار میانگین دمای حداقل ماههای مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، ولی مقدار این افزایش در ماهها و تحت سناریوهای مختلف، متفاوت میباشد (شکل ۱۳). تحت تمامی سناریوها، بیشترین مقدار افزایش مربوط به ماه

جدول ۱۷. تغییرات دمای حداقل ماهانه در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه بر حسب درجه سلسیوس

مدل	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ensemble	ssp1-2.6	۱/۴۴	۰/۸۳	۰/۸۷	۱/۰۲	۰/۸۹	۱/۲۵	۱/۳۹	۱/۶۱	۲/۰۳	۱/۲۱	۰/۸۶	۰/۷۰
	ssp3-7.0	۳/۰۷	۲/۷۳	۲/۶۷	۳/۵۲	۳/۶۷	۴/۴۶	۵/۱۸	۵/۶۰	۶/۱۶	۳/۹۸	۳/۸۱	۳/۳۱
	ssp5-8.5	۴/۰۷	۳/۵۷	۳/۷۷	۴/۶۷	۴/۷۴	۵/۸۰	۶/۴۰	۷/۲۰	۷/۲۷	۴/۹۸	۴/۴۷	۳/۷۴

### جمع‌بندی

سد طرق در این دوره شده باشد. مقدار بارش برای دو ماه سپتامبر و نوامبر تحت تمامی سناریوها و دوره‌ها کاهش پیدا کرده است. مقدار بارش برای ماه مارس تحت تمامی سناریوها و دوره‌ها به جز سناریوی SSP3-7.0 در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ افزایش پیدا کرده است. این موضوع برای ماه ژوئن به جز سناریوی SSP3-7.0 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و برای ماه دسامبر به جز سناریوی SSP1-2.6 در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نیز صادق می‌باشد. مقدار بارش در فصل زمستان به جز تحت سناریوی SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و سناریوی SSP3-7.0 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ افزایش پیدا کرده است. مقدار بارش در فصل بهار هرچند در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت تمامی سناریوها افزایش پیدا کرده است، اما در ادامه تحت تمامی سناریوها و دوره‌ها به جز سناریوی SSP1-2.6 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ مقدار بارش آن کاهش پیدا کرده است. مقدار بارش در فصل تابستان تحت تمامی سناریوها و دوره‌ها به جز سناریوی SSP1-2.6 در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ کاهش پیدا کرده است. مقدار بارش نیز در فصل پاییز تحت تمامی سناریوها و دوره‌ها به جز سناریوی SSP5-8.5 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ کاهش پیدا کرده است. رابطه با تغییرات دما، تحت تمامی سناریوها و در تمامی دوره‌ها مقدار دمای حداقل و حداکثر نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است، که این موضوع تحت دو سناریوی SSP3-7.0 و SSP5-8.5 شامل افزایش هر دوره نسبت به دوره قبل نیز می‌باشد، اما تحت سناریوی SSP1-2.6

نتایج مطالعه حاضر حاکی از یک روند سینوسی تغییرات مقدار بارش تحت سناریوی SSP5-8.5 برای حوضه مورد مطالعه نسبت به دوره پایه می‌باشد، به این صورت که مقدار بارش سالانه برای دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ افزایش پیدا کرده است در حالی که مقدار بارش سالانه برای دو دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ کاهش پیدا کرده است. این موضوع در رابطه با سناریوی SSP1-2.6 شامل عدم تغییرات قابل توجه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و افزایش در دو دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و کاهش در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه می‌باشد. مقدار بارش سالانه تحت سناریوی SSP3-7.0 در تمامی دوره‌ها کاهش پیدا کرده است، هرچند مقدار این کاهش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ قابل توجه نمی‌باشد. لازم به ذکر است افزایش بارش در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ تحت سناریوی SSP5-8.5 به عنوان یک سناریوی خیلی بدبینانه، معنی دار و قابل توجه نمی‌باشد. از طرفی عدم تغییرات قابل توجه بارش تحت دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP3-7.0 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و افزایش بارش تحت سناریوی SSP5-8.5 در این دوره عمدتاً می‌تواند ناشی از فرضیات متفاوت در نظر گرفته شده در آن‌ها باشد، به طور کلی افزایش دما در مناطق کوهستانی عمدتاً به دلیل رطوبت افزایش یافته سبب افزایش بارش می‌گردد، محتمل می‌باشد افزایش دما تحت سناریوی SSP5-8.5 به عنوان یک سناریوی خیلی بدبینانه سبب افزایش بارش در منطقه کوهستانی حوضه

نتایج مطالعات نزدیک نشان دهنده کاهش، افزایش و گاه تغییرات کاهشی-افزایشی می‌باشد، که عمدتاً می‌تواند ناشی از نوع مدل‌ها و سناریوهای مختلف مورد استفاده و تغییرپذیری بالای پارامتر بارش باشد. در نهایت در رابطه با تغییرات ذکر شده برای پارامتر بارش باید گفت، در دوره پایه برای ماه‌های مختلف نیز چنین تغییراتی وجود داشته است، نکته قابل توجه در این خصوص این است که پدیده تغییر اقلیم در حوضه سد طرق بیش از آنکه باعث کاهش و یا افزایش مقدار بارش گردد تغییرات زمانی وقوع بارش و جابجایی آن در ماه‌های مختلف را باعث شود و بدیهی است که این مسئله همراه با افزایش مقدار عناصر دما میزان آب قابل دسترس در ماه‌های مختلف را نسبت به آنچه که تاکنون رایج بوده تغییر می‌دهد. این موضوع می‌تواند در رشد و نمو و نیز استقرار گیاهان و همچنین میزان آب قابل ذخیره در سد جهت اختصاص به فعالیت‌های مختلف تأثیرگذار باشد که لازم است در مدیریت حوضه آبخیز و نیز سد طرق مد نظر قرار گیرد. با توجه به شرایط کنونی جهان از جمله حرکت به سمت تکنولوژی‌های سازگار با محیط زیست همچون تلاش در استفاده از انرژی‌های پاک و غیر فسیلی و قوانین بین‌المللی مبنی بر رعایت اصول زیست محیطی از جمله کاهش گازهای گلخانه‌ای، در نظر گرفتن سناریوی SSP5-8.5 را که یک سناریوی خیلی بدبینانه می‌باشد، به عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای مقابله و سازگاری با آنچه در آینده رخ می‌دهد تا حد زیادی غیر منطقی می‌کند. از طرف دیگر به نظر می‌رسد انتخاب سناریوی SSP1-2.6 به عنوان یک مبنای تصمیم‌گیری با توجه به شرایط کشورهای توسعه نیافته یا در حال توسعه و قرار داشتن این کشورها در ابتدای راه تغییر و تحولات اساسی سازگار با محیط زیست، بیش از اندازه خوش بینانه می‌باشد. لذا منطقی به نظر می‌رسد که از میان سناریوهای مورد استفاده در این مطالعه، سناریوی SSP3-7.0 به عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای برنامه ریزی در جهت پیشنهاد راهکار برای مقابله و سازگاری با آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، انتخاب شود. تحت سناریوی SSP3-7.0

این موضوع رعایت نشده است، که احتمالاً به ماهیت این سناریو که یک سناریوی خوش‌بینانه می‌باشد، مرتبط می‌شود. به طور کلی شدت افزایش مقدار دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوی SSP5-8.5 (خیلی بدبینانه) نسبت به سناریوی SSP3-7.0 (بدبینانه) و تحت سناریوی SSP3-7.0 نسبت به سناریوی SSP1-2.6 (خوش‌بینانه) بیشتر می‌باشد. حسن‌زاده و آقاخانی افشار (۱۳۹۸)، در مطالعه خود در حوضه آبخیز زشک-ابرده که مانند حوضه طرق یکی از زیرحوضه‌های کشف رود محسوب می‌شود، تغییرات پارامترهای دما و بارش را با استفاده از سناریوهای RCP برای سه دوره زمانی تا پایان قرن مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها تغییرات کاهشی غیر معنی‌دار بارش را تحت تمامی سناریوها و دوره‌های زمانی و تغییرات افزایشی دما را تحت تمامی سناریوها و دوره‌های زمانی نشان می‌دهد. فهیمی نژاد و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی اثر گرمایش جهانی بر پارامترهای دما و بارش با استفاده از سناریوهای RCP در حوضه آبخیز شانندیز که در حوضه کشف رود واقع شده است، افزایش ۳۷ تا ۵۴ درصدی بارش سالانه را در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و افزایش ۵۲ تا ۶۶ درصدی را در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ پیش بینی کردند. آنها همچنین افزایش ۰/۶ تا ۶/۴ درجه‌ای میانگین دمای حداکثر و ۱/۵ تا ۴/۲ درجه‌ای میانگین دمای حداقل را نشان دادند. آقاخانی افشار و همکاران (۱۳۹۵)، در حوضه آبخیز کشف‌رود که تغییرات پارامترهای دما و بارش را با استفاده از چهار مدل جهانی-اقلیمی و سناریوهای RCP برای سه دوره زمانی تا پایان قرن مورد بررسی قرار دادند، یک روند مثبت و منفی معنی‌دار را برای بارش و یک روند مثبت معنی‌دار را برای دما پیش بینی کردند. زرین و داداشی (۱۳۹۹)، در پیش‌نگری چشم انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برونداد مدل‌های CMIP6 تحت سناریوهای SSP، برای تمامی ماه‌ها و سناریوها متوسط روند دما را افزایشی و معنی‌دار نشان دادند. نتایج مطالعه حاضر از لحاظ تغییرات دما با مطالعات فوق همخوانی دارد، ولی از لحاظ تغییرات بارش همان طور که اشاره شد،

حوضه آبخیز سد طرق کاهش بارش و افزایش دما در تمامی دوره‌ها را تجربه خواهد کرد، هرچند کاهش بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ قابل توجه و معنی دار نخواهد بود. با توجه به شرایط پیش بینی شده توسط این سناریو برای آینده لازم است تمهیدات لازم جهت حفاظت و بهره برداری بهینه از میزان آب در دسترس مد نظر قرار گیرد. در این خصوص ایجاد شرایط مناسب جهت نفوذ سریع آب در خاک، کاهش تبخیر از آب پشت سد، تغییرات مدیریتی از جمله بهینه سازی تخصیص منابع آب شامل زمان بندی و میزان آزادسازی آب از سد، استفاده از محصولات کشاورزی با نیاز آبی کم، در صورت لزوم جا به جایی فصل رشد، به کارگیری روش‌های آبیاری با راندمان بالا، توسعه کشت گلخانه‌ای و کم نیاز به آب به جای کشت‌های روباز و مواردی از این قبیل جهت سازگاری با کاهش بارش و افزایش دما در دستور کار قرار گیرد.

### مراجع

- آقاخان‌افشار، ا. ح.، حسن‌زاده، ی.، بسالت‌پور، ع. ا. و پوررضا بیلندی، م.، ۱۳۹۵، ارزیابی سالیانه مولفه‌های اقلیمی حوضه آبخیز کشف‌رود در دوره‌های آبی با استفاده از گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۶)، ۲۳۳-۲۱۷.
- بحری، م. و دستورانی، م.، ۱۳۹۶، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری‌ارضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۶(۲)، ۵۷-۳۷.
- حسن‌زاده، ی. و آقاخان‌افشار، ا. ح.، ۱۳۹۸، استفاده از مدل MIROC-ESM در بررسی شرایط هیدرو-اقلیمی حوضه آبخیز کوچک مقیاس تحت اثر تغییر اقلیم، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، ۴۹(۱)، ۵۹-۴۷.
- رضایی زمان، م.، مرید، س. و دلاور، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود، نشریه آب و خاک، ۲۷(۶)، ۱۲۵۹-۱۲۴۷.
- زارعی، آ.، اسدی، ا.، ابراهیمی، ع.، جعفری، م. و ملکیان، آ.، ۱۳۹۷، بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری، نشریه مرتع، ۱۲(۴)، ۴۳۶-۴۲۶.
- زارعی، ک.، محمدی، ح. و بازگیر، س.، ۱۳۹۸، پیش‌بینی عناصر دما و بارش ایستگاه سینوپتیک گرگان بر اساس سناریوهای RCP، نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱(۴)، ۵۷۹-۵۶۳.
- زرین، آ. و داداشی‌رودباری، ع.، ۱۳۹۹، پیش‌نگری چشم‌انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برونداد پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6)، نشریه فیزیک زمین و فضا، ۴۶(۳)، ۶۰۲-۵۸۳.
- شهووری، ن.، خلیلیان، ص.، موسوی، س. ح. ا. و مرتضوی، س. ا.، ۱۳۹۸، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۲)، ۳۶۶-۳۵۴.
- عارف، م. ر. و علیجانی، ب.، ۱۳۹۷، بررسی تغییرات دما و بارش حوضه آبخیز یزد-اردکان با SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، نشریه خشک بوم، ۱۸(۱)، ۱۰۱-۸۹.
- فهمی‌نژاد، ا.، باعقیده، م.، باباییان، ا. و انتظاری، ع.، ۱۳۹۸، شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی بر میانگین و رخداد‌های حدی برخی متغیرهای هیدرواقلیمی در حوضه‌ی آبریز شان‌دیز، مطالعه موردی: مدل گردش کلی CanESM2، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶(۳)، ۴۸-۲۷.
- کشیری، م.، گودرزی، م.، جانباز قبادی، غ. و متولی، ص.، ۱۳۹۹، چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه جغرافیای طبیعی، ۱۳(۴۷)، ۵۱-۳۵.
- مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۵، ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان، گزارش نهایی رساله دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- منصوری، ب.، احمدزاده، ح.، مساح بوانی، ع.، مرید، س.، دلاور، م. و لطفی، س.، ۱۳۹۳، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زرنه رود با استفاده از مدل SWAT، نشریه آب و خاک، ۲۸(۶)، ۱۲۰۳-۱۱۹۱.
- 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.
- 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.
- 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.
- Fentaw, F., Hailu, D., Nigussie, A. and Melesse, A., 2018, Climate change impact on the hydrology of Tekeze basin, Ethiopia: projection of rainfall-runoff for future water resources planning, *Water Conservation Science and Engineering*, 3(4), 267-278.
- Mourato, S., Moreira, M. and Corte-Real, J., 2015, Water Resources Impact Assessment Under Climate Change Scenarios in Mediterranean Watersheds, *Water Resources Management*, 29(7), 2377-2391.
- 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.
- 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.
- 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

24. Serpa, D., Nunes, J.P., Santos, J., Sampaio, E., Jacinto, R., Veiga, S., Lima, J.C., Moreira, M., Corte-Real, J., Keizer, J.J. and Abrantes, N., 2015, Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments, *Science of Total Environment*, 538, 64–77.
25. Shiferaw, H., Gebremedhin, A., Gebretsadkan, T. and Zenebe, A., 2018, Modelling hydrological response under climate change scenarios using SWAT model: the case of Ilala watershed, Northern Ethiopia, *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 437–449.
- West African catchment (Dano, Burkina Faso) using SHETRAN, *Science of Total Environment*, 653, 431–445.
22. Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., et al., 2017, The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change*, 42, 153-168.
23. Singh, D., Gupta, R. D. and Jain, S. K., 2015, Assessment of impact of climate change on water resources in a hilly river basin, *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12), 10625–10646.

## Investigating Impact of Future Climate Changes on Temperature and Precipitation condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad)

Mojtaba Sarabi<sup>1</sup>, Mohammad Taghi Dastorani<sup>2,\*</sup>, Azar Zarrin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MSc Student of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>2</sup>Professor of Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad\*

<sup>3</sup>Assistant professor of Geography Department, Faculty of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad

\*Corresponding Author Email: [dastorani@um.ac.ir](mailto:dastorani@um.ac.ir)

Received: 05 February 2020 , accepted: 09 May 2020

### ABSTRACT

This study investigates impact of the climate change on temperature and precipitation parameters for the Torogh Dam watershed using a weighted combination of four AOGCM models of the sixth phase of climate change models (CMIP6) under three scenarios: SSP1-2.6, SSP3-7.0, and SSP5-8.5 over the basic period (1993-2012) and the four future periods (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 and 2081-2100). Initially, in order to evaluate the performance of the models, five statistical measures, as well as correlation coefficient, were used to compare the results of the historical period of the models with the observation period of the selected stations as well as the watershed average. After ensuring the ability of all four models to simulate precipitation and temperature parameters in the study watershed, in order to reduce uncertainty, the results of all four models in the base period were combined using MOTP weighting method and the weight of each model was obtained. Finally, based on the amount of weights obtained for each model, the results of all four models for future periods were combined with each other. The study results show a sinusoidal trend of precipitation changes under ssp5-8.5 scenario in different periods, which includes an increase in precipitation in two periods of 2021-2040 and 2061-2080 and a decrease in two periods of 2041-2060 and 2081-2100. While the amount of precipitation under ssp1-2.6 scenario will not change significantly for the first period, but will increase for the two periods of 2041-2060 and 2061-2080 and will decrease for the last period. For ssp3-7.0 scenario, this includes a decrease in precipitation for all time periods except the first period, which will not be changed significantly. In terms of temperature changes, the predictions show an increase in minimum and maximum temperature under all scenarios and in all periods compared to the base period. For ssp3-7.0 and ssp5-8.5 scenarios, this includes increasing each period compared to the previous period.

**Keywords:** Climate Change, Ensemble, SSP Scenarios, ISIMIP, CMIP6, MOTP

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Sarabi, M.; Dastorani, M.T.; Zarrin, A. (2020). Investigating Impact of Future Climate Changes on Temperature and Precipitation condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 3(1): 63-83

### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

