



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

مجتبی سرابی، دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشگاه فردوسی مشهد

محمد تقی دستورانی، استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد\*

آذر زرین، استادیار دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*مسئول مکاتبه: ۰۹۱۳۳۵۷۵۴۲۵، پست الکترونیکی: dastorani@um.ac.ir

### چکیده

این مطالعه به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر میزان بارش حوضه آبخیز سد طرق با استفاده از ترکیب وزنی چهار مدل AOGCM از فاز ششم مدل‌های تغییر اقلیم (CMIP6) تحت سه سناریو SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 برای یک دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۱۲) و دو دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۶۰-۲۰۸۱) می‌پردازد. در ابتدا به منظور درستی سنجی مدل‌ها از چند آماره خطاسنجی و همچنین ضریب همبستگی برای مقایسه نتایج دوره تاریخی مدل‌ها با دوره مشاهداتی ایستگاه‌های منتخب و همچنین میانگین حوضه آبخیز استفاده شده است. بعد از اطمینان از توانایی هر چهار مدل در شبیه‌سازی پارامتر بارش در محدوده حوضه مورد مطالعه، به منظور کاهش عدم قطعیت، نتایج هر چهار مدل با استفاده از روش وزن دهی MOTP ترکیب شد و مقدار وزن هر مدل به دست آمد. در نهایت نتایج هر چهار مدل برای دوره‌های آینده ترکیب شدند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد مقدار بارش سالانه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ تحت سناریو SSP5-8.5 افزایش پیدا خواهد کرد، در حالی که تحت دو سناریو SSP1-2.6، SSP3-7.0 تغییرات قابل توجهی نخواهد داشت، این موضوع برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۸۱ شامل افزایش مقدار بارش سالانه تحت سناریو SSP1-2.6 و کاهش تحت دو سناریو SSP3-7.0 و SSP5-8.5 میباشد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، همادی، *MOTP CMIP6 dSIMIP SSP SCENARIOS*

### ۱- مقدمه

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 [1]. 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 [2]. 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 [4], [3]. لذا این موضوع اهمیت بررسی روند تغییرات پارامترهایی همچون بارش را برای آگاهی از وضعیت آینده جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی دو چندان می کند. مطالعات مختلف در این زمینه برای بررسی وضعیت آینده اقلیمی عمدتاً به وسیله خروجی مدل های گردش عمومی جو صورت میگیرد، که بر حسب نیاز ممکن است توسط تکنیک ها و مدل های اقلیمی - منطقه ای برای محدوده خاصی، کوچک مقیاس شوند. شهوری و همکاران (۱۳۹۸)، در مطالعه ای 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 [5]. 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 شبیه سازی ها حاکی از کاهش تا ۴۰ درصدی بارش ماهیانه و افزایش ۲ درجه سلسیوسی دما بود [6]. منصوری و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیق خود در حوضه زربینه رود که تغییرات بارش را نیز بررسی کردند، از مدل LARS-WG برای کوچک مقیاس سازی خروجی ۱۴ مدل AOGCM برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۵ از ۶ ایستگاه سینوپتیک 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 [7]. 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 [8]. Serpa و همکاران (۲۰۱۵)، با بررسی اثرات تغییرات آب و هوایی برای یک حوضه مرطوب و همچنین یک حوضه خشک مدیترانه ای در کشور پرتغال، کاهش بارش سالانه را برای هر دو حوضه مرطوب (۱۲-٪) و خشک (۸-٪)، همراه با افزایش شدید بارش در فصل زمستان پیش بینی کردند [9]. Mourato و همکاران (۲۰۱۵)، در تحقیقی که به بررسی تاثیرات سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در هفده حوضه مدیترانه ای از دو حوضه بزرگ رودخانه های Guadiana و Sado در پرتغال با استفاده از دو مدل گردش عمومی جو و سه مدل اقلیمی - منطقه ای برای آینده (دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱) تحت سناریو A2 پرداختند، تغییر بارش از ۱/۵ تا ۶۵- درصد را نشان دادند [10]. Singh و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه ای 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 sutlej در شمال غربی هیمالیا پرداختند. در مطالعه آنها افزایش کلی میانگین دما و بارش سالانه در هر دو مدل برای دوره های آینده پیش بینی شده است [11]. Nilawar و همکاران (۲۰۱۹)، جهت بررسی تاثیرات تغییر اقلیم برای چهار دوره آینده از سناریو های 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 [12].

لازم به ذکر است که برونداد مدل های فاز ششم تغییر اقلیم (CMIP6) به تازگی انتشار یافته و در دسترس قرار گرفته اند. در این فاز از تلفیق واداشت گازهای گلخانه ای<sup>۱</sup> و خط سیرهای اجتماعی - اقتصادی جهت سناریوها استفاده شده است [13]. تاکنون کمتر مطالعه ای نتایج برونداد این مدل ها را بر وضعیت بارش حوضه آبخیز بررسی کرده است. این مطالعه سعی دارد تغییرات آینده بارش روی حوضه آبخیز سد طرق را با توجه به برونداد مدل های CMIP6 مورد بررسی قرار دهد.

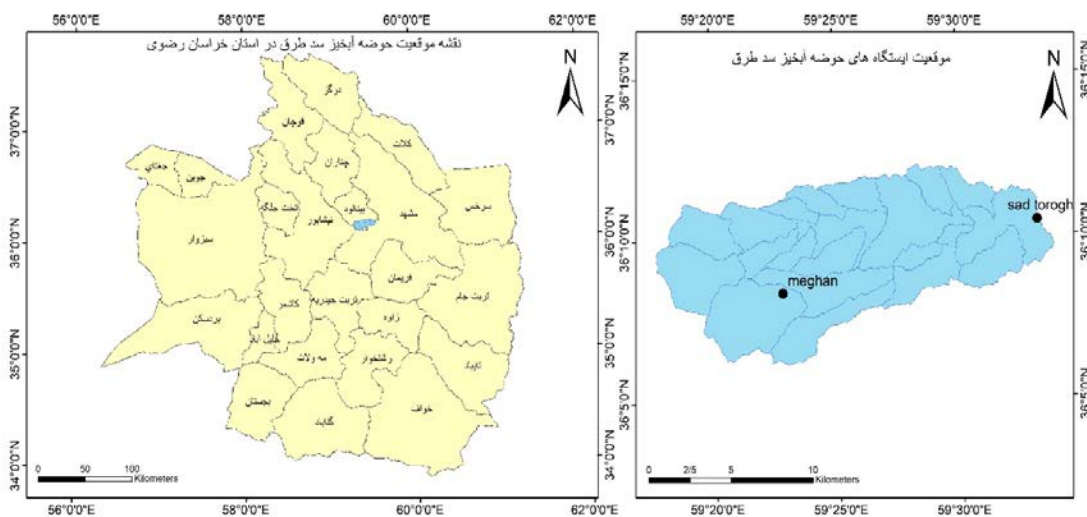
<sup>1</sup> Greenhouse gas forcing



## ۲- مواد و روشها

### ۱-۲ منطقه مورد مطالعه

حوضه ی آبخیز سد طرق در شمال شرق ایران و جنوب شهرستان مشهد و در دامنه های شمال شرقی زون ساختاری بینالود واقع شده است. محدوده مطالعاتی دارای مساحت ۱۶۳/۱۲ کیلومتر مربع و بین عرض جغرافیایی شمالی ۶' ۳۶° تا ۱۲' ۳۶° و طول جغرافیایی شرقی ۱۷' ۵۹° تا ۳۴' ۵۹° واقع شده است (شکل ۱). رودخانه طرق، یکی از شاخه های کشف رود و تأمین کننده آب سد طرق مشهد است. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک با میانگین دمای سالیانه ۱۱/۴ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالیانه ۲۹۸/۴۵ میلیمتر است. متوسط حداقل درجه حرارت سالیانه ۵/۱، متوسط حداکثر درجه حرارت سالیانه ۱۷/۶، حداقل مطلق سالیانه ۲۲- (در بهمن ماه) و حداکثر مطلق سالیانه ۳۹/۶ درجه سانتی گراد (در تیر ماه) می باشد. بیشترین بارش متوسط ماهانه حوضه مربوط به ماه اسفند به میزان ۵۴/۵ میلیمتر است و در ماه های فصل تابستان مقدار بارش کمتر از ۹ میلیمتر است. ارتفاع متوسط حوضه سد طرق ۱۷۰۰/۷ متر، حداقل ارتفاع ۱۲۶۱/۴ متر (در محل خروجی حوضه) و حداکثر ارتفاع هم ۲۲۴۰/۶ متر از سطح دریا در ارتفاعات غربی می باشد.



شکل (۱): موقعیت حوضه آبخیز سد طرق

در این مطالعه از داده های روزانه پنج ایستگاه، شامل چهار ایستگاه باران سنجی (اولنگ اسدی، مغان، جاغرق و طرق) و یک ایستگاه سینوپتیک (ایستگاه مشهد) استفاده شده است، که مشخصات آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه های مورد استفاده در مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
سد طرق	۱۲۱۰	۵۹° ۳۳' ۱۲"	۳۶° ۱۰' ۳۱"
مغان	۱۸۴۰	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"

## ۲-۲ روش تحقیق

همان طور که اشاره شد این مطالعه به بررسی روند تغییرات بارش در دهه های آتی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی می پردازد. به منظور بررسی روند تغییرات اقلیمی، در این مطالعه از داده های بارش روزانه مدل اثرات چند بخشی پروژه مقایسه مدل های گزارش ششم<sup>۲</sup> برای سناریوهای SSP<sup>۳</sup> استفاده شده است، که مدل های آن دارای تفکیک افقی  $۰/۴۴ \times ۰/۴۴$  درجه می باشند. حوضه مورد مطالعه در دو گرید از مدل های اقلیمی قرار میگیرد، که بنا به بررسی های انجام شده مانند شرایط توپوگرافی و درستی سنجی جهت انتخاب گرید مناسب، گریدی با مختصات عرض جغرافیایی شمالی ۳۶/۲۵ درجه و طول جغرافیایی شرقی ۵۹/۲۵ درجه جهت استخراج داده ها انتخاب شد. این بخش خود شامل دو مرحله میباشد که مرحله اول در برگیرنده بررسی مدل های موجود در پروژه مربوطه و تهیه داده های تاریخی بارش این مدل ها به منظور بررسی صحت و دقت آنها از طریق مقایسه با داده های مشاهداتی ایستگاه های داخل حوضه آبخیز، اطراف حوضه و همچنین نماینده حوضه آبخیز (متوسط بارش ایستگاه های طرق و مغان) میباشد و مرحله دوم در برگیرنده اجرای روش همادی سازی به منظور کاهش خطاها و افزایش همبستگی بین داده های تاریخی و مشاهداتی است.

## ۲-۲-۱ مراحل انجام تحقیق

مرحله اول: در این مرحله ابتدا به شناسایی مدل های موجود در پروژه مربوطه که دارای داده های بارش تاریخی و همچنین سناریوهای مورد نظر بودند، پرداخته شد. پس از انجام بررسی های صورت گرفته چهار مدل اقلیمی-جهانی GFDL-ESM4، MRI-ESM2-0 و MPI-ESM1-2-HR، IPSL-CM6A-LR، پس از شناسایی مدل های مورد نظر شدند که دارای تمامی ویژگی های مد نظر بودند. در ادامه به منظور بررسی صحت و دقت این مدل ها برای منطقه مطالعاتی داده های تاریخی بارش این مدل ها برای دوره پایه ۱۹۹۳-۲۰۱۲ به مدت ۲۰ سال تاریخی تهیه شد. این بازه زمانی به این دلیل انتخاب شد که اولاً دوره تاریخی مدل های CMIP6 تا ۲۰۱۴ است و ثانیاً برای تمامی ایستگاه های مطالعاتی در این دوره آمار اندازه گیری شده موجود بود. چهار ایستگاه باران سنجی شامل طرق، اولنگ اسدی، جاغرق و مغان و یک ایستگاه سینوپتیک مشهد به منظور مقایسه داده های تاریخی مدل ها با داده های مشاهداتی انتخاب شدند. برای این منظور میانگین داده های ماهانه ۲۰ سال تاریخی مدل ها در برابر میانگین داده های ماهانه ۲۰ سال مشاهداتی ایستگاه ها و همچنین نماینده حوضه آبخیز (متوسط بارش ایستگاه های طرق و مغان که در داخل حوضه ولی در ارتفاعات متفاوت قرار دارند) قرار گرفت و از آماره های ضریب همبستگی (r)، میانگین قدرمطلق خطا (MAD)، ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NSE)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و درصد میانگین مطلق خطا (MAPE) برای بررسی مقایسه ای استفاده شده است. آماره های خطا سنجی مذکور به ترتیب با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شده اند.

<sup>2</sup>. Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project

<sup>3</sup>. Shared Socioeconomic Pathways



(۱)

رابطه

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

رابطه (۲)

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

(۳)

رابطه

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

رابطه (۴)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \overline{A_t})^2}$$

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 خطای مذکور به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده صحت و دقت 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 مجموعه‌ای از مدل‌ها تشکیل شده است، می‌شود، برای این منظور پس از تعیین وزن هر مدل با توجه به میزان تاثیر گذاری آن، اقدام به میانگین‌گیری وزنی از داده‌های مدل‌ها می‌شود. در این مطالعه از روش میانگین‌گیری وزنی مستقل MOTP استفاده شده است.

## ۲-۲-۲ روش وزن دهی (MOTP) Mean Observed Temperature Precipitation

در این روش مدل‌های انتخاب شده بر اساس مقدار انحراف میانگین دما یا بارش شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن دهی می‌شوند:

$$W_i = \frac{(1/\Delta T_i)}{\sum_{i=1}^N (1/\Delta T_i)} \quad \text{رابطه (۵)}$$



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 مدل های مطالعه در دوره پایه در ماه مورد نظر از میانگین داده های مشاهداتی و  $N$  نیز تعداد مدل های مورد استفاده در مطالعه میباشد [14].

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱ ارزیابی عملکرد مدل های جهانی-اقليمی

به منظور ارزیابی عملکرد مدل های جهانی-اقليمی MRI- و MPI-ESM1-2-HR، IPSL-CM6A-LR، GFDL-ESM4 و ESM2-0 در تولید داده های بارش، داده های تاریخی این مدل ها با داده های 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 پارامتر های خطاسنجی  $RMSE$ ،  $MAPE$ ،  $MAD$  و  $NSE$  و همبستگی برای آنها محاسبه گردید. نتایج به دست آمده از عملکرد مدل ها در این پنج ایستگاه و میانگین حوضه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مقادیر آماره های خطاسنجی در دوره پایه برای ایستگاه های 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	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





حوضه	MRI	3.457	4.661	18.38	0.938161	0.973833
	ensemble	2.383	3.69	11.955	0.961252	0.984384

به طور کلی نتایج به دست آمده از آماره ها حاکی از عملکرد نسبتاً مناسب مدل ها در منطقه مورد مطالعه و اطراف حوضه آبخیز میباشد و از آنجایی که مبنای تصمیم گیری برای انتخاب مدل ها، 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 اقلیمی- جهانی برای مشارکت در مطالعه برای بررسی روند تغییرات بارش در دوره های آینده تحت سناریوهای مختلف وزن دهی و استفاده شوند. وزن های به دست آمده برای چهار مدل اقلیمی در ماه های مختلف در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): وزن های به دست آمده برای چهار مدل اقلیمی در ماه های مختلف

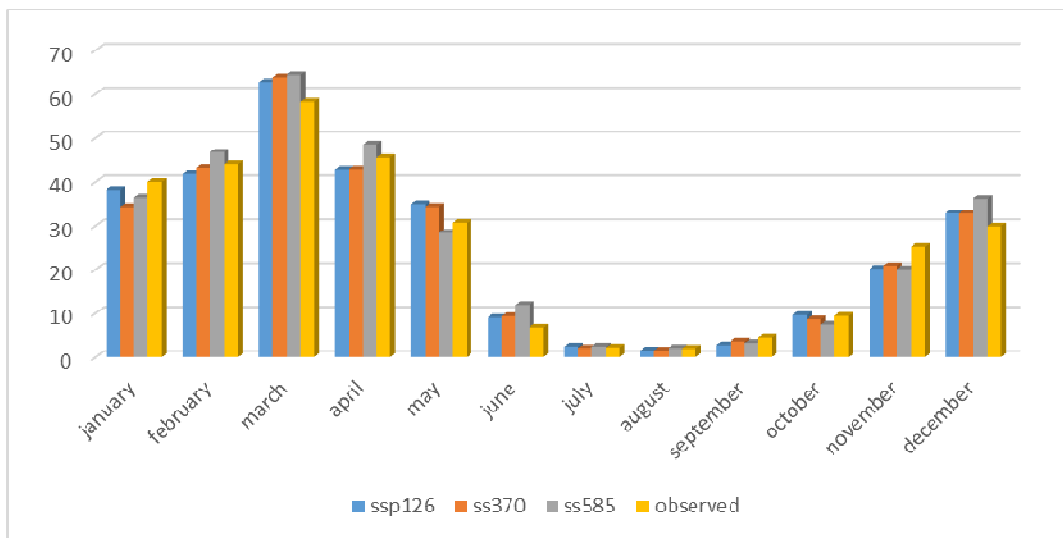
	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
gfdl	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۸
ipsl	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۲۵
mpi	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۲۳
mri	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۲۴

### ۲-۳ روند تغییرات بارش در دهه های آتی

با توجه به نتایج به دست آمده از عملکرد مدل های جهانی-اقلیمی در شبیه سازی متغیر اقلیمی بارش بر روی حوضه سد طرق و ایستگاه های 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 همدادی سازی تحت سه سناریو شامل خوش بینانه (SSP1-2.6)، متوسط (SSP3-7.0) و بدبینانه (SSP5-8.5) برای دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ از آن ها استفاده شود.

### ۲-۳-۱ دوره آینده ۲۰۲۱-۲۰۴۰

در این دوره تمامی سناریو ها برای ماه های ژانویه، سپتامبر و نوامبر کاهش بارش و برای ماه های مارس، ژوئن و دسامبر افزایش بارش را پیش بینی کرده اند، این در حالی است که در سایر ماه ها نتایج متفاوتی در بین سناریو ها مشاهده شده است (شکل ۲). در مقایسه میانگین بارش سالانه برای سناریو ها در دوره مورد نظر نسبت به دوره پایه برای دو سناریو SSP1-2.6 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 سناریو های SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به ترتیب برابر ۲۹۸/۸۵، ۲۹۷/۲۵ و ۳۰۷/۳۵ میلیمتر بدست آمده است.



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

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 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 ۴).

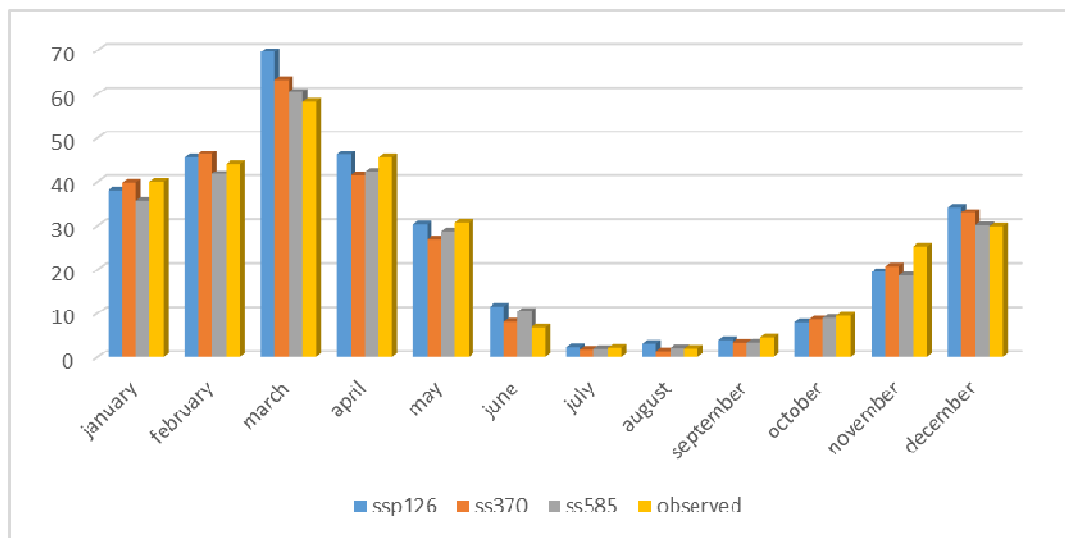
جدول (۴): تغییرات بارش فصلی در دوره مشاهداتی و تحت سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰

	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

### ۲-۲-۳ دوره آینده ۲۰۶۰-۲۰۴۱

در این دوره تمامی سناریوها برای ماههای ژانویه، می، 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 بین سناریوها مشاهده شده است (شکل ۳). 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 ۲۰۶۰-۲۰۴۱ به ترتیب برابر ۳۱۲/۰۳، ۲۹۴/۱۷ و ۲۸۴/۱ میلیمتر بدست آمده است.





شکل (۳): تغییرات میانگین بارش ماهانه تحت سناریوهای مختلف (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و دوره مشاهداتی

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 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 ۵).

جدول (۵): تغییرات بارش فصلی در دوره مشاهداتی و تحت سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰

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

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان میدهد که مقدار بارش سالانه تحت سناریوی SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و نیز تحت سناریوی SSP1-2.6 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ افزایش پیدا خواهد کرد، در حالی که تحت دو سناریو SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ کاهش را تجربه خواهد کرد. مقدار بارش سالانه برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP3-7.0 تغییرات قابل توجهی نخواهد داشت. مقدار بارش برای ماههای مارس، ژوئن و دسامبر برای تمامی سناریوها در دو دوره آینده افزایش پیدا کرده است. مقدار بارش برای ماههای ژانویه، سپتامبر و نوامبر برای تمامی سناریوها در دو دوره آینده کاهش پیدا کرده است، این موضوع برای ماه اکتبر به جز سناریو SSP1-2.6 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ نیز صادق می باشد. مقدار بارش در فصل



زمستان به جز برای سناریو SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و سناریو SSP3-7.0 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ افزایش پیدا کرده است. مقدار بارش در فصل بهار نیز به جز برای دو سناریو SSP3-7.0 و SSP5-8.5 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ افزایش پیدا کرده است. مقدار بارش در فصل تابستان به جز برای سناریو SSP1-2.6 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ در تمامی سناریوها و دو دوره آینده کاهش پیدا کرده است. مقدار بارش در فصل پاییز نیز در تمامی سناریوها و دو دوره آینده کاهش پیدا کرده است. چنین تغییراتی در دوره پایه برای ماه‌های مختلف نیز 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 بارندگی گردد تغییرات زمانی وقوع بارش و جابجایی آن در ماه‌های مختلف را باعث خواهد شد و بدیهی است که این مسئله 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 تاثیر گذار باشد که لازم است در مدیریت حوضه آبخیز و نیز سد طرق مد نظر قرار گیرد.

## مراجع

- [1] Azari, M., Moradi, H. R., Saghafian, B. and Faramarzi, M. (2016). "Climate change impacts on streamflow and sediment yield in the North of Iran," J. Hydrological Sciences, 61(1), 123-133.
- [2] 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" J. Ecological Engineering, 133, 20-31.
- [3] Op, F., Diekkruger, 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" J. CATENA, 163, 63-77.
- [4] Op, F., Diekkruger, B., Steup, G., Yira, Y., Hoffmann, T., Rode, M. and Naschen, K. (2019). "Modeling the effect of land use and climate change on water resources and soil erosion in a tropical West African catchment (Dano, Burkina Faso) using SHETRAN" J. Science of Total Environment, 653, 431-445.
- [5] شهوری، 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، شماره ۲، جلد ۱۳، ص ۳۶۶-۳۵۴.
- [6] رضایی زمان، م.، مرید، س. و دلاور، م. (۱۳۹۲). "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود" نشریه آب و خاک، شماره ۶، جلد ۲۷، ص ۱۲۵۹-۱۲۴۷.
- [7] منصور، ب.، احمدزاده، ح.، مساح بوانی، ع.، مرید، س.، دلاور، م. و لطفی، س. (۱۳۹۳). "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زربینه رود با استفاده از مدل SWAT" نشریه آب و خاک، شماره ۶، جلد ۲۸، ص ۱۲۰۳-۱۱۹۱.
- [8] بحری، م. و دستورانی، م. (۱۳۹۶). "ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری" مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲، جلد ۶، ص ۵۷-۳۷.
- [9] 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" J. Science of Total Environment, 538, 64-77.
- [10] Mourato, S., Moreira, M. and Corte-Real, J. (2015). "Water Resources Impact Assessment Under Climate Change Scenarios in Mediterranean Watersheds" J. Water Resources Management, 29(7),



2377-2391.

- [11] 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.
- [12] 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" *J. Science of Total Environment*, 650, 2685-2696.
- [13] 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" *J. Global Environmental Change*, 42, 153-168.

[۱۴] 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.