

## بررسی اثر تغییر اقلیم بر آورد حوضه آبریز سد شهید رجایی با مدل هیدرولوژی SWAT

صدیقه نیکخو امیری، مجتبی خوش‌روش و رضا نوروز ولاشدی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱)

### چکیده

امروزه افزایش دمای سطحی کره زمین و اثرات آن بر چرخه آب توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. در این پژوهش اثر تغییرات آب‌وهوا بر آورد حوضه آبریز تجن (محدوده بالادست سد شهید رجایی) با ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی مدل CanESM۲ و با به‌کارگیری روش ریزمقیاس‌نمایی تحت مدل SDSM بررسی شد. تغییرات دبی جریان در محل سد شهید رجایی با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کیاسر و تغییرات دما و بارش آن با استفاده از سناریوهای اقلیمی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ برای سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۶۶ شبیه‌سازی و همچنین اثر تغییرات سناریوهای مختلف روی جریان خروجی ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه توسط مدل هیدرولوژی SWAT ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بارش سالانه در سناریوی RCP۲/۶ به میزان ۵۸ درصد کاهش و دمای هوا ۱۴ درصد افزایش خواهد داشت، همچنین در سناریوی RCP۸/۵، بارش به میزان ۵۹/۵ درصد کاهش و دما ۲۱ درصد افزایش خواهد یافت. در دوره آینده (۲۰۱۶-۲۰۶۶)، دبی‌های اوج برای سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ به ترتیب به میزان ۴ و ۵/۷ درصد افزایش داشت و متوسط دبی سالانه به میزان ۱۶ و ۱۶/۵ درصد کاهش خواهد داشت. بنابراین می‌توان با بررسی شرایط به‌وجود آمده، برای الگوی کشت منطقه در پایین‌دست و اثرات زیست‌محیطی برای دوره‌های آینده برنامه‌ریزی کرد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌عصبی غیرنظارت‌شونده، بازسازی سری‌های زمانی، داده‌های گمشده

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: r.norooz@sanru.ac.ir

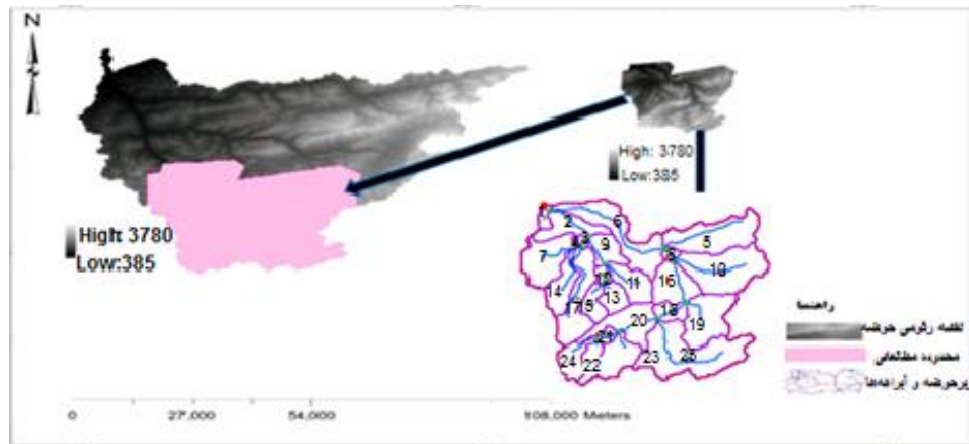
## مقدمه

افزایش دمای کره زمین و اثرات آن بر چرخه آب از جمله مسائلی است که امروزه توجه بسیاری از پژوهشگران علوم جوی را به خود جلب کرده است. طبق گزارش‌های (۲۰) هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) دمای سطح خشکی و آب در کره زمین از قرن ۱۹ تا اوایل قرن ۲۱ به میزان ۰/۴ درجه سانتی‌گراد تا ۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته‌است (۱۹). دمای یک پارامتر آب‌وهواشناسی است که نوسان‌های بزرگ آن با ناهنجاری‌های فراوانی در چرخه هیدرولوژی کره زمین همراه است. به طوری که در برخی نواحی موجب افزایش و در برخی نقاط موجب کاهش بارش شده است. مهم‌ترین پیامد تغییر در چرخه هیدرولوژیکی، تمایل آن به سوی رخداد‌های حادی مانند بارش‌های سیل‌آسا، خشکسالی‌های گسترده و در برخی موارد ترسالی‌های منطقه‌ای است. این ناهنجاری‌ها موجب ضررهای اقتصادی و اجتماعی به‌ویژه در بخش‌های زیرساختی، منابع آبی و کشاورزی شده است و موجب اختلال جدی در برنامه‌ریزی‌های توسعه منطقه‌ای می‌شود (۱۷). همچنین آب به‌عنوان عامل اصلی تحولات پیچیده جهانی و توسعه پایدار کشورهاست؛ طوری که بر اهمیت تأثیر امنیت آب بر بخش‌های مختلف کشورهای جهان، اعم از مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، در گزارش «چالش‌های امنیت آبی قرن ۲۱» تأکید شده است. از سوی دیگر فشار بر منابع آب، به‌دلیل رشد جمعیت و پیشرفت اقتصادی، اجتماعی و تغییرات اقلیم، روزبه‌روز بیشتر می‌شود (۲۴). توزیع منابع آب و چرخه هیدرولوژیکی تا حد زیادی تحت تأثیر افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو و بروز پدیده گرمایش جهانی است (۱۱) که این پدیده به افزایش دما و کاهش احتمالی بارش در بسیاری از مناطق، به‌ویژه مناطق گرم و خشک می‌انجامد.

مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب نیازمند لحاظ کردن آثار تغییر اقلیم برای پیش‌بینی دقیق نیازهای آینده است؛ زیرا بررسی روند تغییرات جریان و آگاهی از آن در بررسی میزان آب در دسترس مؤثر است. به‌منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد

مخازن از روش‌های پیش‌بینی جریان رودخانه می‌توان استفاده کرد که شامل روش‌های آماری، سری‌های زمانی، مدل‌های پیچیده توزیعی و پایه فیزیکی، شبکه‌های عصبی با ترکیب سناریوهای مناسب تغییر اقلیم می‌توان بهره‌برد (۶) و (۸). از جمله روش‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آینده برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی جو یا GCM است (۱۲). به‌منظور مطابقت دادن دقت تفکیک مکانی و زمانی آنها با میزان دقت موردنیاز مدل‌های هیدرولوژیکی و منطقه‌ای، به‌ویژه برای بررسی در مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی مانند بارش و دما، نیاز است از یک مدل ریزمقیاس‌نمایی از جمله مدل‌های LARS-SDSM، USCLIMATE WGEN GEM.MAGICC-SCENGEN.WG و CLIMGEN استفاده کرد (۱۵) و (۲۶). فتحیان و همکاران (۸) به بررسی اثر تغییرات آب‌وهوایی بر نوسانات جریان ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از مدل SWAT پرداختند، ایشان مؤثرترین پارامترهای اقلیمی را افزایش میانگین دمای سالانه و کاهش بارش سالانه بیان کردند که موجب کاهش ۳۵ درصد آب ورودی به دریاچه شده بود. همچنین در پژوهش‌هایی که در آن برای ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای اقلیمی از مدل LARS-WG و سناریوهای A1B، A2، B1 و مدل گردش عمومی (۲۷) HADCM3 استفاده شده است، نشان داد مقدار بارش در افق ۲۰۵۵، ۰/۵ تا ۱۰ میلی‌متر نسبت به دوره پایه متغیر بوده و کاهش پیدا کرده است. دما نیز به‌میزان ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. آنها برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه، از مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن با الگوهای ورودی مختلف استفاده کردند. نتایج نشان از کاهش مقدار رواناب به‌میزان ۳۰ درصد نسبت به دوره پایه داشت.

در مطالعه‌ای که به‌وسیله چنگ و همکاران (۷) روی اثر تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز چارلز بوستون ایالات متحده آمریکا با هدف برنامه‌ریزی برای کاهش سیل صورت گرفت، با استفاده از آزمایش اثرات آب‌وهوا حوضه آبخیز و ابزار ارزیابی خاک و آب (۲) (SWAT) و مقایسه نتایج آنها با سناریوهای



شکل ۱. نقشه رقوم حوضه و نقشه آبراهه‌ها و زیرحوضه در محدوده مطالعاتی سد شهید رجایی

حداکثر اقلیمی (RCP) از گزارش پنجم هیئت ارزیابی تغییر اقلیم، ارزیابی شد. پارامترهای اقلیمی برای دوره‌های آینده توسط مدل (۲۶) SDSM ریزمقیاس‌نمایی شد، سپس اثر این تغییرات آب‌وهوایی برآورد جریان با به‌کارگیری مدل هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی و فیزیکی (۲) SWAT در محل بالادست سد شهید رجایی ارزیابی شد.

## مواد و روش‌ها

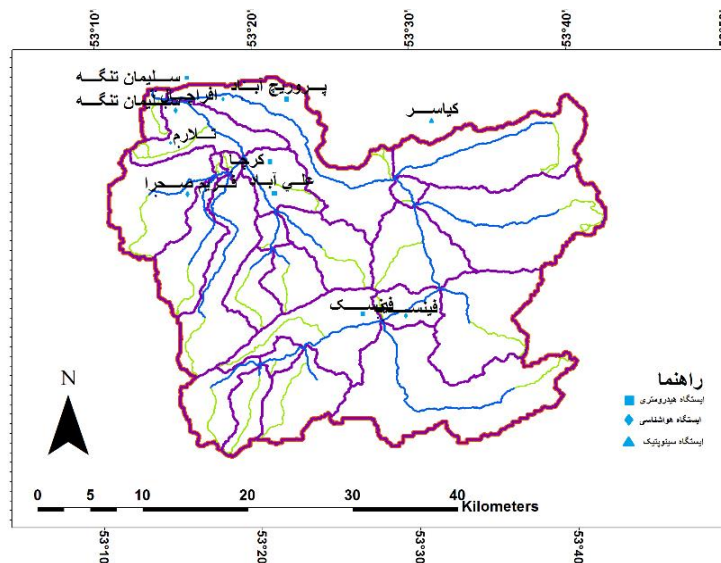
### مشخصات حوضه

این پژوهش روی حوضه آبریز رودخانه تجن انجام گرفته است. پژوهش حاضر در محدوده بالادست سد شهید رجایی به مساحت ۲۳۷۲ هکتار، واقع در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی شهر ساری و روی رودخانه تجن در طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی انجام شده است. این حوضه از لحاظ ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه آبریز تجن به شش زیرحوضه به نام‌های شیرین‌رود، سفیدرود، زارم‌رود، دودانگه، چهاردانگه و لاجیم تقسیم شده و با توجه به مختصات هریک از این زیرحوضه‌ها، طول آبراهه اصلی برای رودخانه تجن معادل ۱۵۵ کیلومتر محاسبه شده است (شکل ۱).

از لحاظ ارتفاعی در مجموع قسمت اعظم این حوضه در ارتفاع ۲۰۰-۵۰۰ متر واقع شده و بخش کوچکی از آن در

انتشار گاز گلخانه‌ای (۲۰) (IPCC)، نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که برنامه‌ریزی برای اثرات تغییر اقلیم بر کاهش سیلاب بسیار کارآمد است. در پژوهشی دیگر که در آن به بررسی دلایل کاهش شدید جریان ورودی به مخزن میون که خود تأمین آب پکن را تحت تأثیر قرار داده است به‌وسیله ما و همکاران (۱۹) انجام گرفت. با استفاده از مدل GBHM که یک مدل هیدرولوژیکی توزیع شده است و مدل اقلیمی به‌منظور ارزیابی کمی تأثیر آب‌وهوایی و تأثیر غیرمستقیم فعالیت انسانی بر ورودی جریان به مخزن استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی مدل GBHM نشان داده که عمده تأثیرات آب‌وهوایی در جریان ورودی به مخزن مربوط به تغییرات اقلیم و قسمت کمتر آن مرتبط به فعالیت‌های انسانی است. سوندراجان و همکاران (۲۴) به بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر برنامه‌ریزی مخزن آب سد پونگ رودخانه بیس واقع در هیمکلت پرادش هند پرداختند، همچنین با استفاده از مدل بارش - رواناب HYSIM تحت سناریوهای اقلیمی (CC)، جریان ورودی را شبیه‌سازی کردند و با استفاده از الگوریتم SPA ظرفیت مخزن را تخمین زدند. نتایج این مطالعات نشان داد که ظرفیت مخزن در اثر تغییرات آب‌وهوایی برای رفع نیازهای آینده کاهش پیدا کرد، در صورتی که نیازهای آینده ۸۳ تا ۵۰۶ درصد افزایش خواهد داشت.

پژوهش حاضر نیز با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان انجام شد. اثرات تغییر اقلیم با استفاده از سناریوهای کمینه و



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در محدوده مطالعاتی سد شهید رجایی

بخش‌های اصلی مدل شامل آب‌وهوا، هیدرولوژی، دمای خاک، مواد مغذی، آفت‌کش‌ها و مدیریت زمین و آلودگی‌ها است (۹) که این مطالعه نیز روی مدیریت اقلیمی و اثر آن بر نوسانات آورد جریان انجام پذیرفته است. داده‌های ورودی به مدل شامل نقشه‌های خاک و کاربری اراضی است که از شرکت آب منطقه‌ای مازندران اخذ شده و همچنین نقشه شیب حوضه شکل (۳)، براساس کلاسه‌بندی پیشنهادی در روش SCS به مدل معرفی شده است. همچنین از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کياسر و برای بررسی نوسانات شدت جریان از اطلاعات سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ آخرین ایستگاه در محل بالادست سد شهید رجایی که ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه است، استفاده شده است.

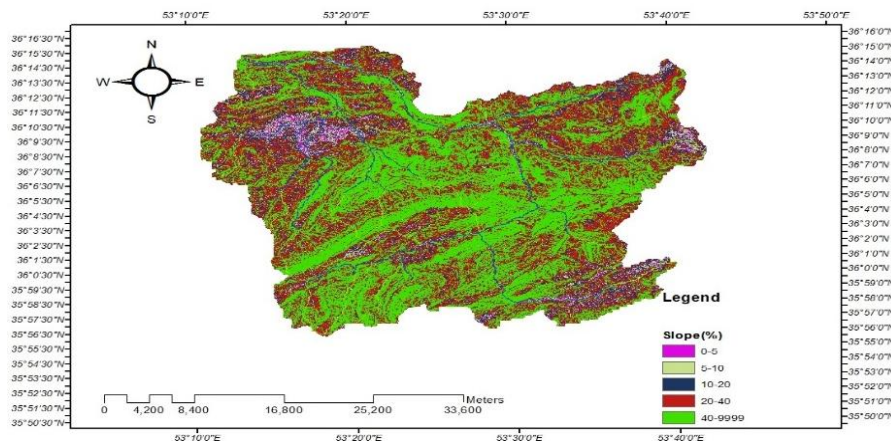
ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر قرار گرفته است که در این صورت میزان شیب از ۱۰-۶ درصد در زیرحوضه‌های چهاردانگه و زارم رود تا بیش از ۱۰ درصد در زیرحوضه‌های شیرین‌رود، سفیدرود و لاجیم با میانگین ۶ درصد متغیر است. حوضه دارای متوسط بارش سالانه ۶۱۵/۳ میلی‌متر و دمای ۱۴/۴۲ درجه سانتی‌گراد در دوره زمانی مورد مطالعه بوده است؛ به‌منظور ارزیابی نوسانات شدت جریان نیز از داده‌های ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه (۲۰۱۵-۲۰۰۵) و برای اعمال تغییرات اقلیمی از داده‌های ایستگاه سینوپتیک کياسر (۲۰۱۵-۲۰۰۵) و برای ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل SDSM، از داده‌های بازتحلیل مرکز ملی پیش‌بینی‌های زیست‌محیطی اقیانوس و جو در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۶۹ دریافت و استفاده شده است شکل (۲).

#### آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT

مدل‌های متداول هیدرولوژی توانایی توصیف دقیق فرایندهای هیدرولوژی و شیمیایی در شرایط طبیعی را ندارند و به پارامترهای ورودی بسیاری که قطعیت آنها به‌طور کامل مشخص شده است، نیاز دارند (۱۰) و (۲۲). بنابراین پیشنهاد شده است که عدم قطعیت در فرایندهای مدل‌سازی به‌کار رود (۵). در این پژوهش نیز از پارامترهای متفاوتی که براساس

#### مدل‌سازی شدت جریان

در این پژوهش از مدل (۲) نیمه‌توزیعی ارزیابی آب و خاک SWAT در شبیه‌سازی اقدامات مدیریتی برای حوضه‌های وسیع و پیچیده و نیز برای دوره‌های زمانی طولانی که از اهداف این پژوهش نیز است، استفاده شده است. این مدل یک مدل فیزیکی و پیوسته زمانی و مکانی است و داده‌های لازم به‌صورت روزانه برای مدل معرفی می‌شوند (۴) و (۲۱). از



شکل ۳. نقشه شیب منطقه مورد پژوهش حوضه بالادست سد شهید رجایی

مکانی درشت آنها است، که در بهترین حالت ۱/۴ درجه در ۱/۴ درجه است (۲۶)، همچنین دقت مکانی این مدل‌ها در حدود ۵۰۰۰۰ کیلومترمربع است (۲۵). بنابراین برای شبیه‌سازی و تولید سناریوهای اقلیمی نیاز است از یک مدل ریزمقیاس استفاده شود. روش‌های گوناگونی برای کوچک‌مقیاس کردن داده‌های هواشناسی موجود است و روش‌های آماری از روش‌های رایجی است که برای این منظور به‌کار می‌رود. از جمله نرم‌افزارهایی که برای این منظور توسعه یافته‌اند مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM است (۶). در این پژوهش از مدل بزرگ‌مقیاس CanESM۲ و برای ریزمقیاس‌نمایی و تولید سناریوهای اقلیمی از مدل SDSM استفاده شده است.

برای بررسی تغییرات اقلیمی از سناریوهای جدید گزارش پنجم (۲۰) هیئت ارزیابی تغییر اقلیم در سال ۲۰۱۳ استفاده شد. هیئت ارزیابی تغییر اقلیم این سناریوها را به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای معرفی کرده است که شامل سناریوهای RCP۸/۵ و RCP۲/۶ است. این سناریوها بر مبنای سطح فناوری، وضعیت اجتماعی و اقتصادی و رهیافت‌ها و چشم‌اندازهای آینده مشخص شده‌اند که در هر شرایطی می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوتی از گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی شود. نام‌گذاری سناریوهای جدید در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم براساس میزان سطح واداشت تابشی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای تا پایان قرن

ویژگی‌های حوضه انتخاب شده و با استفاده از روش معکوس و الگوریتم SUFI-۲ براساس مقادیر p-value و t-state ارزیابی شده‌اند، انتخاب شده است. مدل چندین بار اجرا و حساسیت پارامترها براساس مقدار ضرایب t-state مشخص شد. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر و نیز مقادیر ضرایب p-value به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده میزان حساسیت پارامترهای مدنظر است (۲). سپس اطلاعات داده‌های ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ بر اساس نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد به مدل swat-cup به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی معرفی شد. نتایج شبیه‌سازی براساس پارامترهای p-factor و r-factor و نیز ضرایب نش - ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، نمایه توافق (d) که مقدار آن هرچه به یک نزدیک‌تر باشد گویای همبستگی خوب بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی است و همچنین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ارزیابی شد.

### آماده‌سازی سناریوهای اقلیمی

مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی جو اقیانوس یا به‌اختصار مدل‌های (GCM)، از قابل‌اعتمادترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی و بررسی چشم‌اندازهای اقلیمی در دوره آینده هستند (۲۶). اما یکی از مشکلات و چالش‌های استفاده از خروجی این مدل‌ها برای بررسی و مطالعه اثرات محلی، تفکیک

۲۱ برحسب وات بر مترمربع (برای مثال RCP/۵ یعنی واداشت تابشی خط مشی این سناریو معادل ۸/۵ وات بر مترمربع) انجام شده است (۲۰).

برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی بارش، دمای کمینه و بیشینه، تابش، باد و رطوبت نسبی، به دلیل دقت مناسب داده‌های ایستگاه سینوپتیک کیاسر، این ایستگاه انتخاب شد که برای معرفی به مدل SDSM استفاده شده است. بعد از مرحله غربالگری و مشخص شدن پارامترهای مؤثر برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل، اطلاعات هواشناسی ایستگاه به نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد به ترتیب برای مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به کار رفتند. این مراحل با در نظر گرفتن و مقایسه شاخص‌های انحراف معیار و میانگین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی ارزیابی شدند. سپس سناریوهای انتشار RCP در پژوهش حاضر برای سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۶۶ توسط مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM تولید و برای بررسی اثرات آنها بر نوسانات شدت جریان به مدل هیدرولوژیکی معرفی شد.

## نتایج و بحث

با ورود اطلاعات مورد نیاز در محل ایستگاه سلیمان‌تنگه به مدل هیدرولوژیکی SWAT مقدار شدت جریان برای یک دوره ۱۰ ساله شبیه‌سازی شد. طبق نتایج آنالیز حساسیت از بین پارامترهای انتخاب شده برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، پارامترهای ضریب  $\alpha$  آب پایه و شماره منحنی رطوبتی به ترتیب بیشترین و کمترین حساسیت را در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT-CUP داشتند (۱). همچنین ۱۸ پارامتر مؤثر در شبیه‌سازی که مقادیر بیشینه و کمینه آنها برای شبیه‌سازی و نیز مقادیر بهینه‌شده این ضرایب پس از چند مرحله تغییر برای شبیه‌سازی بهتر مدل و ایجاد همبستگی بهتر بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده طبق جدول (۱)، توسط نرم‌افزار (۱) SWAT-CUP و الگوریتم SUFI۲ برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT معین شد. نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل مورد

ارزیابی قرار گرفت شکل (۴). این ارزیابی در دوره واسنجی روی ۸۱ داده مشاهداتی به صورت ماهانه و برای سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۶، و ۳۲ داده مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۳ برای شبیه‌سازی به مدل معرفی شد. بیشترین دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه برابر ۱۹/۴۱ مترمکعب بر ثانیه و کمترین دبی برابر ۰/۴۳ مترمکعب بر ثانیه و بیشترین و کمترین دبی شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر ۱۹/۳۲ و ۰/۸۳ مترمکعب بر ثانیه است. مدل SWAT-CUP دبی‌های اوج و پایه را در بیشتر ماه‌ها به خوبی شبیه‌سازی کرده است. طبق منحنی پراکنش جریان‌های خروجی ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه و شبیه‌سازی شده توسط مدل شکل (۵) مشاهده می‌شود که مدل برای شبیه‌سازی جریان حوضه، از دقت مناسبی ( $R^2=0/71$ ) برخوردار است. نتایج به وسیله نمایه‌های آماری R-factor، ضریب نش - ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) ارزیابی شدند. حاجی‌حسینی و همکاران (۱۳) در مطالعه خود که با هدف بررسی توانایی مدل SWAT روی حوضه بالادست رودخانه هیرمند انجام داده‌اند، داده‌های رواناب رودخانه دهرآوود برای سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۹ را بررسی کردند و نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل، نشان داد که ضرایب  $R^2$  در خروجی حوضه به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۷۰ حاصل شده است. همچنین در پژوهشی که حسینی و همکاران (۱۴) برای برآورد بیلان آبی در حوضه‌های منتهی به خلیج فارس با استفاده از مدل SWAT انجام دادند، در ارزیابی کارایی مناسب مدل، نتایج شبیه‌سازی جریان را با استفاده از مدل SWAT-CUP و الگوریتم SUFI۲ ارزیابی کردند. ضریب نش - ساتکلیف برای حوضه‌های شش‌گانه در دوره واسنجی به ترتیب برابر ۰/۶۶، ۰/۷۳، ۰/۴۰، ۰/۳۲، ۰/۵۳ و ۰/۷۸ و در دوره صحت‌سنجی نیز به ترتیب برابر ۰/۴۹، ۰/۴۸، ۰/۴۲، ۰/۴۵، ۰/۴۶ و ۰/۶۲ حاصل شد که حاکی از کارایی قابل قبول مدل SWAT در این پژوهش است. در مطالعه‌ای که رستمیان و همکاران (۲۳) با هدف ارزیابی

جدول ۱. پارامترهای منتخب نهایی در مرحله واسنجی به ترتیب میزان حساسیت

رتبه حساسیت	علامت اختصاری پارامتر در مدل	پارامتر	بیشینه	کمینه	مقدار بهینه برآزش یافته
۱	v_ALPHA_BF.gw	ضریب $\alpha$ آب پایه	۰/۰۵	-۰/۱۳	۰/۰۱
۲	v_GW_DELAY.gw	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل خاک به سطح آب زیرزمین (روز)	۲۵۴/۶۸	۱۱۷/۱۸	۲۱۴/۱۲
۳	v_GWQMN.gw	حداقل میزان ذوب برف در ۲۱ ژوئن (mmH <sub>2</sub> O/C-day)	۱/۴۵	۰/۹۹	۱/۰۳
۴	r_SOL_AWC (۱).sol	ظرفیت آب قابل دسترس (mm H <sub>2</sub> O)	۰/۷۶	۰/۵۵	۰/۵۵
۵	r_SOL_K (۱).sol	هدایت هیدرولیکی خاک (mm/hr)	۰/۴۸	-۰/۰۱	۰/۲۸
۶	v_CH_N۲.rte	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۳۱
۷	v_CH_K۲.rte	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)	۱۴۰/۴۳	۸۹/۶۱	۱۰۲/۰۶
۸	r_OV_N.hru	ضریب مانینگ برای جریان سطحی (m/s)	-۰/۲۲	-۰/۳۳	-۰/۲۶
۹	a_ESCO.hru	ضریب تبخیر خاک	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۶
۱۰	r_SLSUBBSN.hru	متوسط طول (شیب) (m)	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۹
۱۱	v_SFTMP.bsn	متوسط دمای هوا برای بارش برف (°C)	۳/۲۲	۰/۶۹	۱/۹۹
۱۲	v_MSK_CO۱.bsn	زمان ذخیره‌سازی برای جریان طبیعی (s)	۵/۸۶	۴/۰۲	۴/۶۶
۱۳	v_MSK_CO۲.bsn	زمان ذخیره‌سازی برای جریان کم (s)	۷/۰۰	۴/۶۶	۵/۵۴
۱۴	v_ALPHA_BNK.rte	ضریب $\alpha$ آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال	۰/۱۳	-۰/۰۱	۰/۰۷
۱۵	v_SMTMP.bsn	دمای ذوب توده برف (°C)	-۱۳/۹۷	-۲۷/۵۸	-۱۵/۹۴
۱۶	v_SMFMX.bsn	حداکثر میزان ذوب برف در ۲۱ ژوئن (mmH <sub>2</sub> O/C-day)	۹/۰۴	۷/۷۰	۷/۸۹
۱۷	r_SOL_BD (۱).SOL	چگالی خاک در حالت مرطوب (Mg/m <sup>۳</sup> )	۰/۶۰	-۰/۵۰	-۲۶/۳۵
۱۸	r_CN۲.mgt	شماره منحنی در شرایط رطوبتی CN۲	۰/۲۰	-۰/۲۰	۰/۰۰

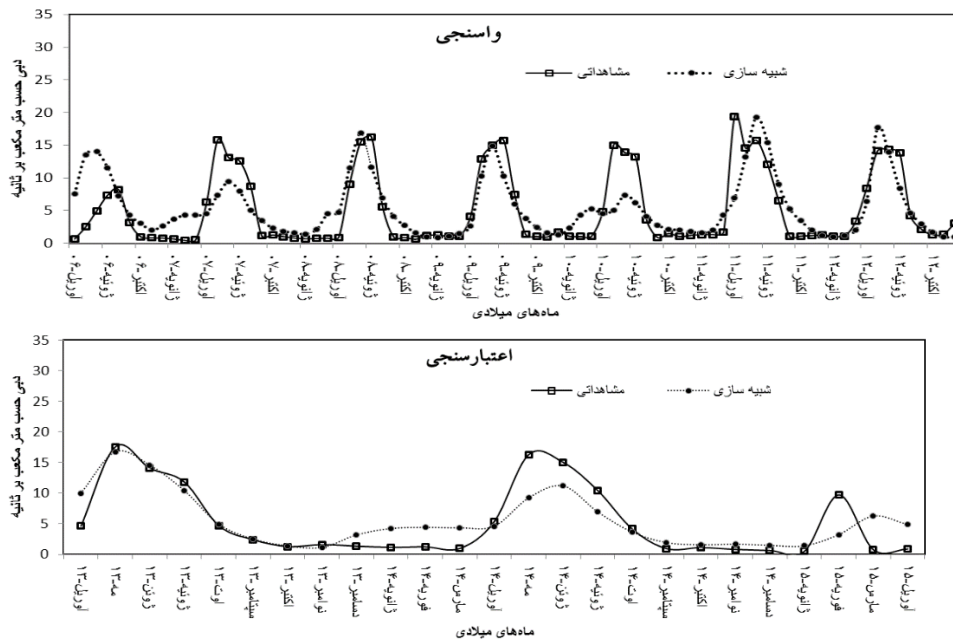
علامت r و v به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات نسبی و مطلق هستند.

### پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی برای دوره‌های آینده

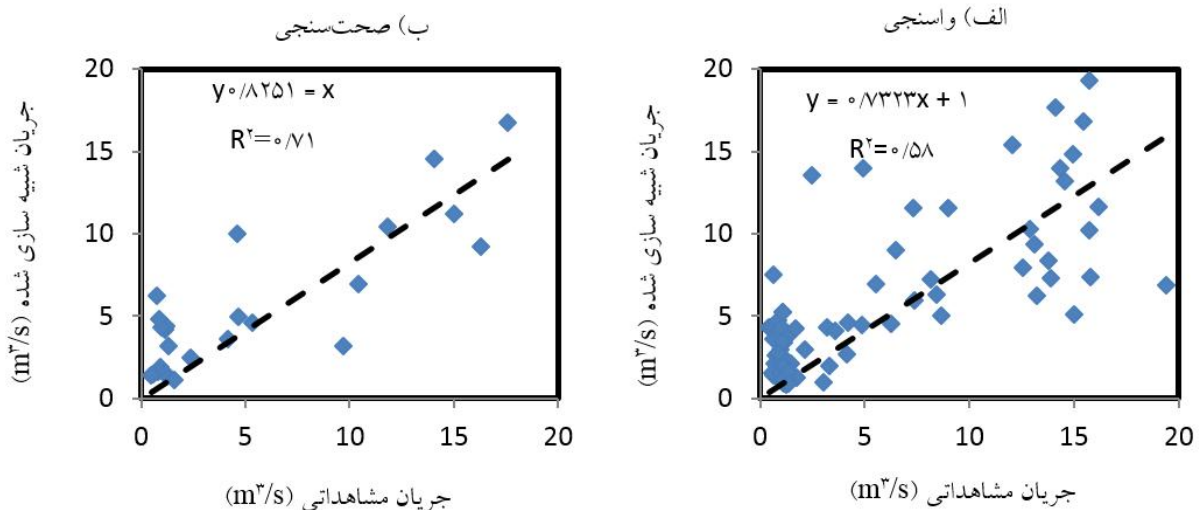
متغیرهای اقلیمی بارش، دمای بیشینه و کمینه، تابش، باد و رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک کیاسر و داده‌های بازتحلیل مرکز اقیانوس (۱۶) و جو توسط مدل ریزمقیاس‌نمایی (۲۶) SDSM به صورت روزانه معرفی و بعد از واسنجی (۱۹۷۹-۱۹۹۷) و صحت‌سنجی (۲۰۰۵-۱۹۹۸) مدل طبق آماره‌های ارزیابی بیان شده در جدول (۳) ارزیابی شد. همان‌طور که مشخص است، میانگین‌ها و انحراف معیار داده‌های مدل و مشاهداتی با هم یکسان هستند که نشان‌دهنده دقت خوب مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی است.

نتایج این پژوهش یا یافته‌های (۱۳، ۱۴ و ۲۳) مطابقت دارد. آنها با کاربرد مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM نشان دادند که بین مقادیر مدل‌سازی شده و واقعی تفاوتی وجود ندارد. در مرحله

کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب و رسوب در حوضه بهشت‌آباد انجام دادند نیز نتایج ضرایب p-factor، r-factor و R<sup>۲</sup> برای خروجی حوضه در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۴۸، ۰/۸۵ و ۰/۷۵ و در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۸۳، ۰/۳۸، ۰/۸۵ و ۰/۵۷ بود که نتایج واسنجی و صحت‌سنجی رواناب در این پژوهش نسبت به ضرایب مراحل واسنجی و صحت‌سنجی شبیه‌سازی غلظت رسوب نتایج بهتری داشت و نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه نسبت به رسوب بود. در پژوهش حاضر نیز با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده و نیز نمایه‌های آماری حاصل در جدول (۲)، دقت بالای مدل SWAT (نمایه توافق ۰/۹) برای حوضه تجن نیز مشخص شده است.



شکل ۴. منحنی دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نسبت به زمان در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی



شکل ۵. منحنی پراکنش جریان خروجی مشاهداتی و شبیه‌سازی ایستگاه هیدرومتری در مرحله: الف) واسنجی و ب) صحت‌سنجی مدل

سالانه دما و بارش برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه است. این نمودار نشان‌دهنده تغییرات میزان بارش و دما در سال‌های (۲۰۱۶-۲۰۶۶) نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۵-۲۰۰۵) است. مشاهده می‌شود که دمای بیشینه و کمینه برای هر دو سناریوی RCP۸/۵ و RCP۲/۶ نسبت به دوره مشاهداتی (سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵) افزایش و میزان بارش نیز برای سال‌های آینده کاهش محسوسی داشته است. همچنین تغییرات بارش برخلاف

بعد سناریوهای اقلیمی RCP۸/۵ و RCP۲/۶ برای یک دوره ۵۰ ساله آینده توسط مدل اقلیمی SDSM تولید شد. با توجه به اینکه از بین فرایندهای اقلیمی، دما و بارش مؤثرترین متغیر روی تغییرات محیطی به‌ویژه شدت جریان هستند، این دو پارامتر ارزیابی شدند. نمودارهای تغییرات اقلیمی برای دو سناریوی تولید شده نسبت به دوره تاریخی شکل‌های (۶) و (۷) نشان‌دهنده تغییرات

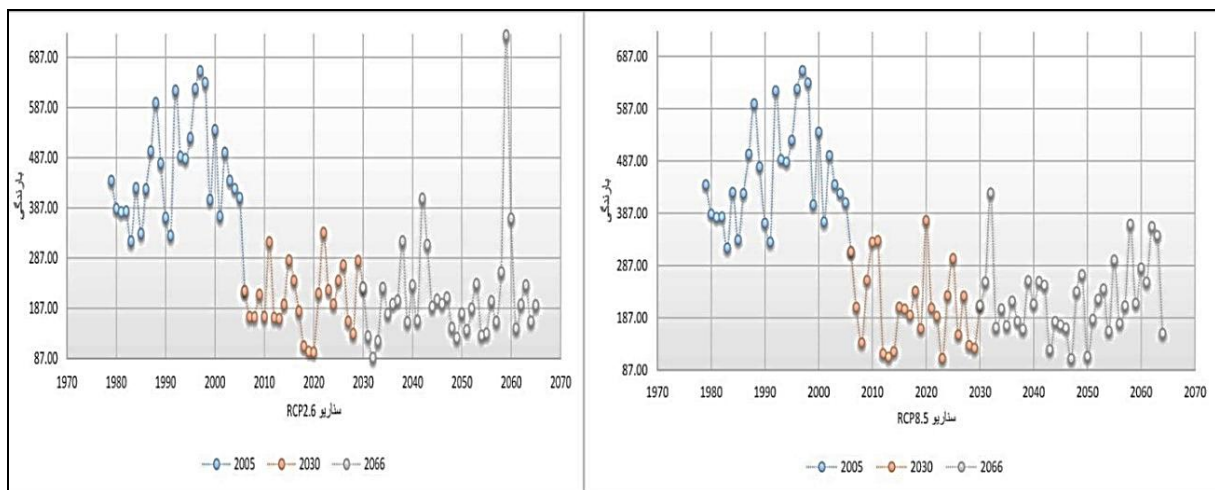


جدول ۲. نمایه‌های آماری شبیه‌سازی مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در محل خروجی حوضه آبریز بالادست سد شهید رجایی

StdDev_sim (StdDev_obs)	Mean_sim (Mean_obs)	RMSE	bR <sup>۲</sup>	NS	R <sup>۲</sup>	d	r-factor	p-factor	Variable
(۵/۵۶) ۴/۵۱	(۵/۰۷) ۵/۴۳	۳/۶۵	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۸۵	۱/۴۱	۰/۸۵	واسنجی
(۵/۶۰) ۴/۲۱	(۵/۱۶) ۵/۴۲	۳/۰۷	۰/۴۵	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۹	۰/۶۹	۰/۴۰	اعتبارسنجی

جدول ۳. ارزیابی داده‌های مدل شده توسط مدل اقلیمی SDSM و مشاهداتی در دوره ۱۹۷۹-۲۰۰۵ بر اساس میانگین و انحراف معیار

متغیرها	بارش (mm)	دما بیشینه (°C)	دما کمینه (°C)	تابش (MJ/m <sup>۲</sup> /s)	باد (m/s)	رطوبت نسبی (%)
میانگین داده‌های مدل	۱/۲	۱۹/۶	۶/۹	۲۰	۲/۸۸	۰/۷
انحراف معیار داده‌های مدل	۳/۵۵	۹/۷	۶/۵۳	۷/۶	۰/۷۲	۰/۲
میانگین داده‌های مشاهداتی	۱/۲۷	۱۹/۳	۶/۸	۱۸	۲/۸	۰/۷
انحراف معیار داده‌های مشاهداتی	۳/۵	۹/۵	۶/۸	۸	۰/۷۲	۰/۲

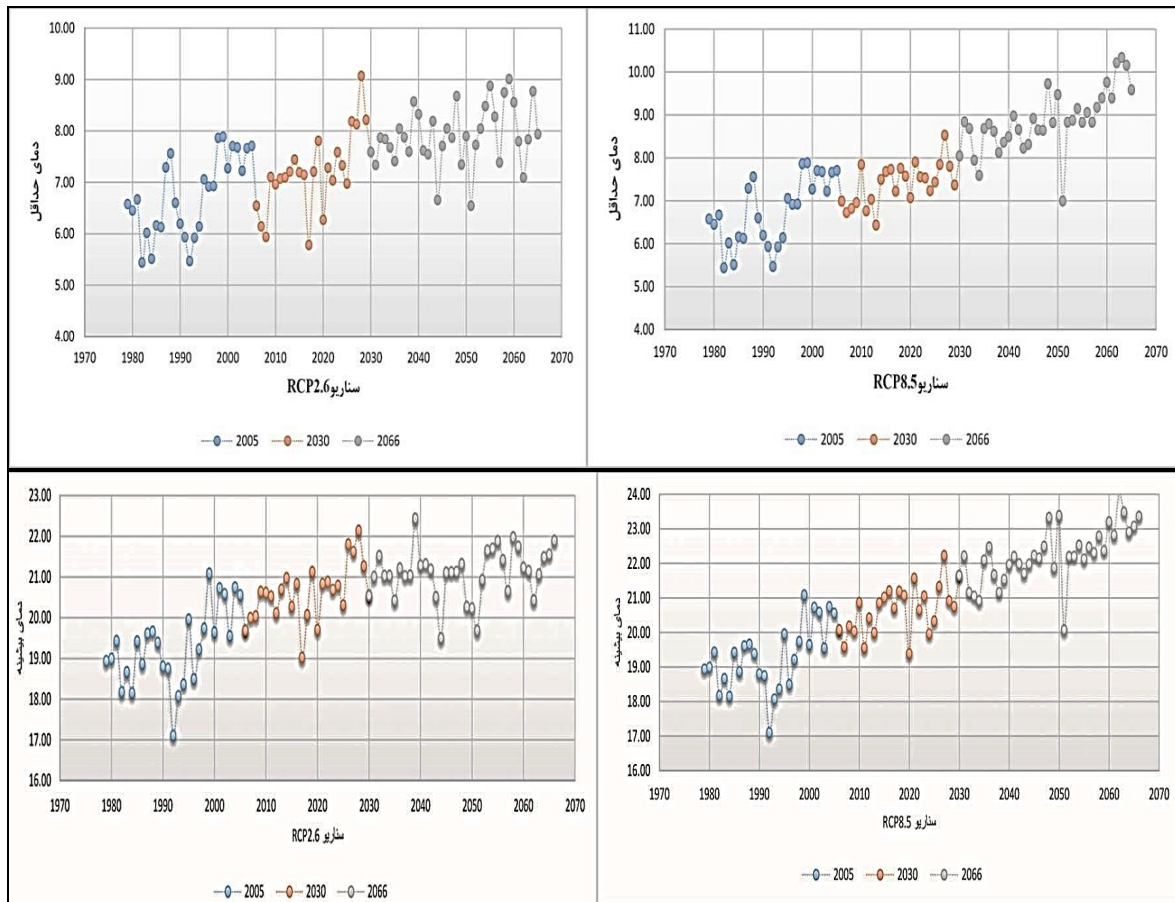


شکل ۶. تغییرات بارش سناریوهای اقلیمی (۲۰۱۶-۲۰۶۶) نسبت به دوره مشاهداتی (ایستگاه کیاسر دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵)

در سناریوی RCP۲/۶ ۲۱ و ۸ درجه و در سناریوی RCP۸/۵ ۲۲ و ۸/۵ درجه است که نسبت به دوره تاریخی (۱۹/۲۲ و ۶/۷۴ درجه)، به ترتیب ۸/۵ و ۱۴ درصد در سناریوی RCP۲/۶ و ۱۲ و ۲۳/۵ درصد در سناریوی RCP۸/۵ افزایش دارد. طبق جدول (۴)، روند تغییرات دمای کمینه در هر دو سناریوی اقلیمی برای بیشتر ماه‌ها افزایشی بود ولی برای ماه‌های مربوط به زمستان و پاییز شاهد کاهش دما نسبت به دوره گذشته خواهیم بود. دمای بیشینه نیز در بیشتر ماه‌های سال برای هر دو سناریو افزایش داشت ولی برای ماه‌های پاییز شاهد

روند کلی کاهش آن برای کل دوره آماری آینده (۲۰۱۶-۲۰۶۶)، برای سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۶۶ به بعد نسبت به سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۲۹، برای هر دو سناریو به صورت افزایشی بود و می‌تواند حاکی از احتمال بروز بارش‌ها به صورت سیل آسا برای سال‌های مذکور باشد.

میانگین بارش سالانه در سناریوی RCP۲/۶، ۲۰۹ میلی‌متر و در سناریوی RCP۸/۵ ۲۱۶ میلی‌متر و نسبت به دوره تاریخی ۱۹۷۹-۲۰۰۵ (۴۶۳ میلی‌متر)، به ترتیب ۵۵ و ۵۳ درصد کاهش نشان می‌دهد. همچنین میانگین دمای بیشینه و کمینه به ترتیب



شکل ۷. تغییرات دما سناریوهای اقلیمی (۲۰۱۶-۲۰۶۶) نسبت به دوره مشاهداتی (ایستگاه کیاسر دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۵)

جدول ۴. مقایسه تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای اقلیمی نسبت به داده‌های مشاهداتی برحسب درصد نسبی

سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژولای	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
-۵۳	-۶۲	-۶۰	-۴۰	-۸۰	-۹۲	-۷۲	-۶۷	-۳۲	-۱۸	-۶۳	-۵۷	-۵۰	بارش RCP۲/۶
-۵۴	-۷۵	-۵۶	-۵۵	-۸۱	-۸۲	-۷۷	-۷۴	-۷	۳	-۶۲	-۵۲	-۵۵	بارش RCP۸/۵
۱۴	-۴۶	-۱۰۰	-۲۲	۱۰	۳۲	۴۷	۶۰	۶۰	۳	-۶۳	۱۰۰	۱۰۰	دمای کمینه RCP۲/۶
۲۴	-۴	-۴۱	-۱۲	-۴	۵	۱۵	۲۷	۳۴	۲۵	۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	دمای کمینه RCP۸/۵
۸	۷	-۱۸	-۱۱	-۲	۷	۱۲	۱۷	۱۲	۰	۲۵	۴۹	۴۲	دمای بیشینه RCP۲/۶
۱۲	۱۵	-۱۳	-۹	-۱	۷	۱۴	۱۷	۱۰	۳	۳۶	۶۳	۴۹	دمای بیشینه RCP۸/۵

علامت + و - به معنی افزایش یا کاهش است.

می نیز شاهد کاهش بسیار کمتر بارش در مقایسه با سناریوی RCP۲/۶ نسبت به دوره گذشته خواهیم بود. این امر حاکی از تأثیر تغییرات دما بر روند بارشی حوضه است. لکزائیان‌پور و همکاران (۱۸) نشان دادند که تحت سناریوهای اقلیمی A۲ و B۲ روی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، افزایش دما در ماه‌های

کاهش دما بیشینه خواهیم بود. همچنین مشاهده می‌شود که بارش برای هر دو سناریو روند کاهشی محسوسی خواهد داشت و این کاهش در فصل‌های گرم سال در سناریوی RCP۸/۵ در مقایسه با سناریوی RCP۲/۶ بیشتر خواهد بود. در ماه آوریل در سناریوی RCP۸/۵ شاهد افزایش بارش و در ماه

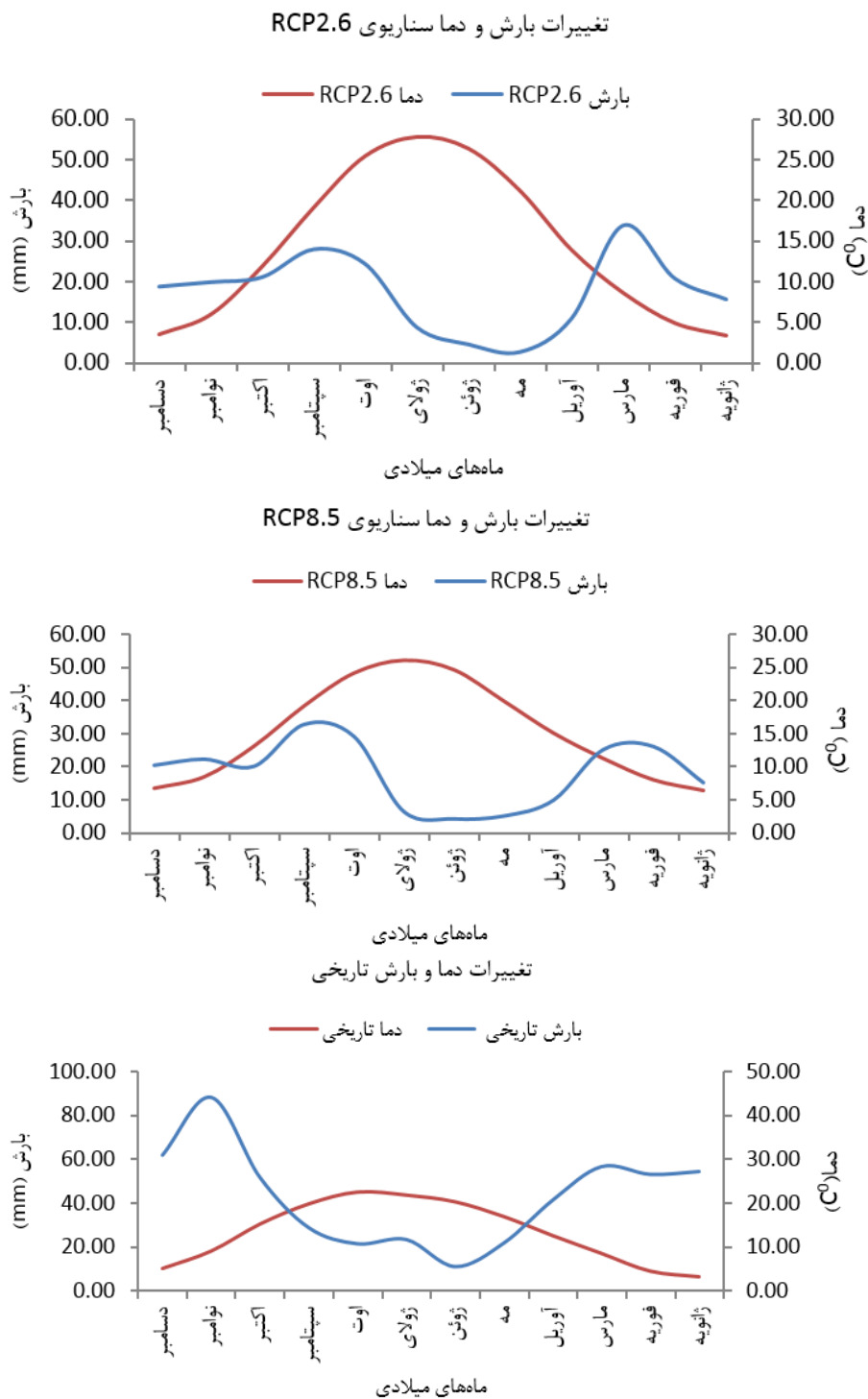
جریان خروجی نیز در این ماه‌ها کاهش بیشتری خواهد داشت. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش دمای سالانه به میزان ۱۴ درصد در سناریوی RCP۲/۶، ۱۶ درصد کاهش جریان و با افزایش دما به میزان ۲۱ درصد در سناریوی RCP۸/۵، ۱۶/۵ درصد کاهش جریان خواهیم داشت. در مطالعه‌ای که الماسی و همکاران (۳) بر رواناب سطحی حوضه آبخیز بازفت با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و سناریوهای A۲، B۲ و نیز برای شبیه‌سازی رواناب حوضه از مدل هیدرولوژیکی WetSpa استفاده کردند، در بررسی تغییرات رواناب با سناریوی A۲، شاهد افزایش دما و کاهش بارندگی بود ولی نتایج شبیه‌سازی آنها نشان‌دهنده افزایش رواناب در آینده به میزان ۹ درصد بوده است. این نتیجه نشان‌دهنده وقوع بارش‌های کوتاه‌مدت و با شدت زیاد در حوضه بازفت است. طبق پژوهشی که یعقوبی و همکاران (۲۷) بر رواناب خروجی حوضه آبخیز گاوه‌رود، با استفاده از مدل اقلیمی SDSM و سناریوی A۲ و نرم‌افزار HYMOD برای بررسی رواناب خروجی پرداختند، مشخص شد که افزایش و کاهش میانگین دما و بارش به ترتیب به میزان ۸/۵ و ۵ درصد و کاهش رواناب خروجی برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۶، به میزان ۲۳ درصد بود.

مقایسه اثرات بارش و دما بر شدت جریان خروجی مطابق شکل (۸) ارائه شده است. کاهش میزان بارش در طول دوره خشک سال و نیز کاهش جریان در این دوره حاکی از تأثیرات بیشتر دما نسبت به بارش بر شدت جریان خروجی است. طبق مطالعه وانگ و همکاران (۲۵) روی بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریانات ورودی به مخزن هوآبینه در حوضه رودخانه سرخ، نشان دادند که از بین پارامترهای اقلیمی، تغییرات دما اثر بیشتری نسبت به بارش بر روند جریان و تغییرات ورود به مخزن هوآبینه دارد. همچنین تغییرات دبی‌های متوسط ماهانه اوج در سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ نسبت به دبی‌های اوج مشاهداتی به ترتیب ۴ و ۵/۷ درصد افزایش داشته که بیشتر در فصل‌های گرم سال افزایش دبی اوج سناریوها نسبت به دوره مشاهداتی بوده است.

زمستان و کاهش آن در ماه‌های پاییز و زمستان محسوس‌تر بوده است. همچنین تغییرات بارش نیز شامل افزایش محسوس بارندگی در فصل‌های زمستان و پاییز و کاهش آن در فصل‌های گرم سال بوده است.

### شبیه‌سازی نوسانات شدت جریان در اثر تغییرات اقلیمی

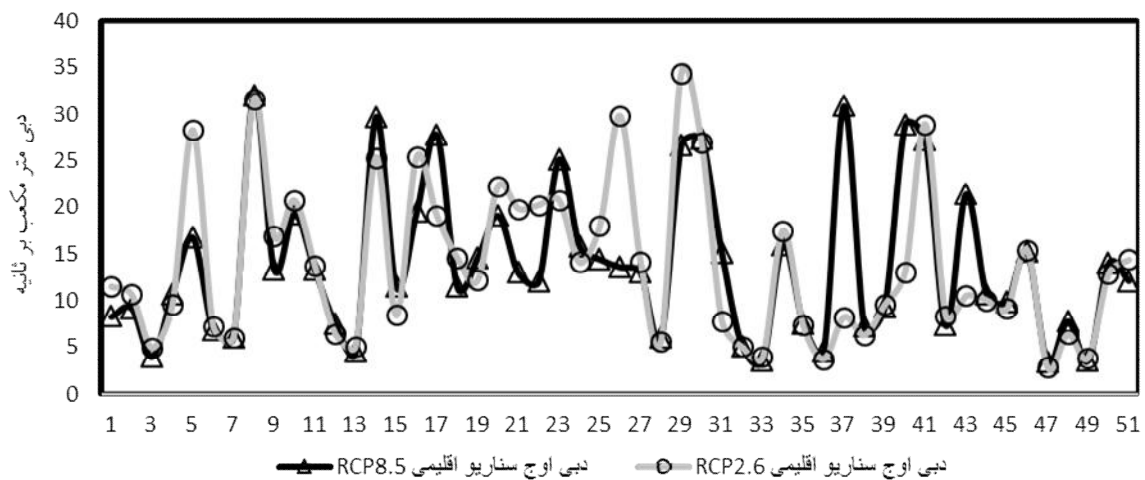
در این پژوهش با استفاده از خروجی‌های مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در مدل هیدرولوژیکی SWAT، تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر نوسانات شدت جریان خروجی در آخرین ایستگاه بالا دست سد شهیدرجایی ارزیابی شد. شکل‌های (۸) و (۹) که به ترتیب در آنها نسبت تغییرات متوسط بارش و دمای ماهانه در هر دو سناریوی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ و دبی اوج ماهانه پیش‌بینی شده برای دوره زمانی آینده در دو سناریوی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ را نشان می‌دهند. با کاهش ۵۸ درصد بارش در سناریوی RCP۲/۶، شدت جریان خروجی نسبت به دبی مشاهداتی برای سال‌های ۲۰۶۶-۲۰۱۶، ۱۶ درصد کاهش خواهد داشت. همچنین در سناریوی RCP۸/۵ با ۵۹/۵ درصد کاهش در میزان بارندگی، شدت جریان خروجی برای دوره آینده ۱۶/۵ درصد نسبت به دوره مشاهداتی (سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۶) کاهش خواهد داشت. تغییرات دوره خشکسالی (منحنی آمبروترمیک) در دو سناریو نسبت به دوره تاریخی مطابق شکل (۸) نشان داده شده است. براساس آن دوره خشکسالی از شش ماه (ماه‌های آوریل تا سپتامبر) برای دوره تاریخی به مدت ۹ ماه (مارس تا اکتبر) برای سناریوهای اقلیمی تغییر خواهد داشت که طبق این مشاهده دوره خشکسالی برای دوره آینده یک ماه زودتر شروع و سه ماه دیرتر نسبت به دوره تاریخی (سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۶) اتفاق خواهد افتاد. افزایش و تغییر در زمان شروع و پایان دوره خشک سال و تأثیر آن بر میزان ذخایر آبی موجب عدم تأمین آب برای کشت‌های مناسب این فصول برای مناطق پایین‌دست سد خواهد شد و می‌تواند بر زمان و الگوی کشت این گیاهان نیز مؤثر و موجب تغییر آنها شود. مشخص شده است که بیشترین کاهش بارش مربوط به ماه‌های فصل گرم سال بود و



شکل ۸. منحنی آمبروترمیک (دما و بارش) تحت سناریوهای اقلیمی در مقایسه با دوره تاریخی

محیط پیرامون خود پیدا کرده‌اند را به هم‌زده و شرایط زیست‌گونه و تولید مثل آنها را به مخاطره خواهد انداخت. به‌طور مشابه در این پژوهش نیز وجود اختلاف در دبی‌های اوج

همچنین دبی‌های اوج در سناریوها پنج ماه زودتر نسبت به دوره تاریخی رخ خواهد داد. تغییرات ایجاد شده بر شدت و زمان دبی‌های اوج نیز سازگاری‌هایی که جانوران، آبزیان با



شکل ۹. نوسانات دبی اوج ماهانه جریان خروجی تحت دو سناریوهای اقلیمی

جدول ۵. مقایسه میانگین تغییرات دما، بارش و شدت جریان خروجی طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۶ در مقایسه با دوره ۵۱ ساله آینده تحت

سناریوهای اقلیمی حدی RCP طی سال‌های ۲۰۶۶-۲۰۱۶

سناریوی RCP۸/۵			سناریوی RCP۲/۶			متغیر
شدت جریان خروجی	بارش	دما	شدت جریان خروجی	بارش	دما	
-۱۶/۵	+۵۹/۵	+۲۱	-۱۶	+۵۸	+۱۴	درصد اختلاف
۰/۹۶۰*	۴/۵۵*	-۳/۸۷*	۰/۹۶۰*	۴/۶۱*	-۲/۶۹*	t

\* نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار (سطح اطمینان ۹۵ درصد) میانگین داده‌ها در سناریوی مورد نظر نسبت به دوره تاریخی و علامت + به معنی افزایش و علامت - به مفهوم کاهش است.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کیاسر که به دلیل کامل‌تر بودن داده‌های آن انتخاب و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM، سناریوهای تابشی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ تولید شد. بعد از ارزیابی شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در دوره واسنجی و صحت‌سنجی و مقایسه داده‌های تولیدی مدل شده و مشاهداتی که نشان‌دهنده دقت شبیه‌سازی مدل اقلیمی SDSM بود، دقت مدل SDSM ارزیابی شد. برای شبیه‌سازی آورد حوضه به محل سد شهید رجایی، داده‌های آخرین ایستگاه هیدرومتری حوضه، ایستگاه سلیمان‌تنگه توسط مدل SWAT شبیه‌سازی و به وسیله نرم‌افزار SWAT-CUP و روش SUFI۲، کارایی و دقت مدل در شبیه‌سازی جریان ارزیابی شد. برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر

ماهانه به دلیل افزایش احتمال وقوع رخداد‌های حدی علاوه بر افزایش تفاوت قابل توجهی نیز در دو سناریو به‌ویژه در انتهای دوره آماری آینده به‌وجود آورده است. شکل (۹). بنابراین نتایج مقایسه شدت جریان خروجی تحت سناریوهای اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون مقایسه میانگین t مستقل مورد آزمون قرار گرفت و طبق جدول (۵) مقایسه جریان بین شدت جریان خروجی تاریخی و سناریوهای اقلیمی RCP۲/۶ و RCP۸/۵، در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین تغییرات دما در هر دو سناریو در سطح ۹۹ درصد و نیز بارش در هر دو سناریوی اقلیمی در سطح ۹۷ و ۹۸ درصد اختلاف معنی‌داری دارد. مشاهده می‌شود که تغییرات اقلیمی تأثیرات محسوسی را بر شدت جریان خروجی ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه خواهد داشت.

تغییر در دوره‌های گرمایی برای سال‌های آینده می‌تواند بر زمان و الگوی کشت گیاهان زراعی در پایین‌دست بسیار مؤثر باشد. کاهش شدت جریان خروجی حوضه، افزایش و تغییر در به وقوع پیوستن دبی‌های اوج، با تأثیر بر مورفولوژی رودخانه، می‌تواند اثرات زیست‌محیطی مهمی را نیز در پی داشته باشد. می‌توان با انجام کارهای مدیریتی لازم در زمینه تغییر کاربری اراضی و نیز تغییر در طراحی سازه‌های منابع آبی، مشکلات پیش‌بینی شده برای حوضه تجن را تا حدودی بهبود بخشید.

جریان در دوره‌های آینده از سناریوهای گزارش پنجم IPCC استفاده شد. پس از بررسی تغییرات جریان تحت دو سناریوی تولیدی مدل اقلیمی، مشاهده شد که جریان خروجی حوضه در سناریوی RCP۲/۶ به میزان ۱۶ درصد و در سناریوی RCP۸/۵ به میزان ۱۶/۵ درصد برای دوره زمانی سال‌های ۲۰۶۶-۲۰۱۶، در ایستگاه سلیمان‌تنگه این حوضه کاهش خواهد داشت همچنین با کاهش شدت جریان و آورد به سد شهید رجایی، برنامه‌ریزی منابع آبی برای دوره‌های آینده دچار اختلال شده است و بر تأمین نیازهای آبی پایین‌دست سد مؤثر بوده و نیز

### منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, K. 2007. User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs, in Sci. Technol., Dübendorf, Switzerland., Eawag : Swiss Fed. Inst. of Aquat.
2. Abbaspour, K. 2008. SWAT Calibrating and Uncertainty Programs (A User Manual), Eawag Zurich, Switzerland.
3. Almasi, P., S. Soltani, M. Goodarzi and R. Modares. 2017. Assessment the Impacts of Climate Change on Surface Runoff in Bazoft Watershed. *Journal of Water and Soil Science*, 20 (78) : p. 39-52. (In Farsi).
4. Arnold, J. G., P. M. Allen and G. Bernhardt. 1993. A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of Hydrology* 142 (1-4): 47-69.
5. Beven, K. 1993. Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling. *Advances in water Resources* 16(1): 41-51.
6. Chen, H., C. Y. Xu and S. Guo. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology* 434: 36-45.
7. Cheng, C., Y. C. Yang, R. Ryan, Q. Yu and E. Brabec. 2017. Assessing climate change-induced flooding mitigation for adaptation in Boston's Charles River watershed, USA. *Landscape Urban Planning* 167: 25-36.
8. Fathian, F., S. Morid and E. Kahya, 2015. Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical Applied Climatology* 119(3-4): 443-464.
9. Fu, G., M. E. Barber and S. Chen. 2007. Impacts of climate change on regional hydrological regimes in the spokane river watershed. *Journal of Hydrologic Engineering* 12(5): 452-461.
10. Gassman, P. W., M. R. Reyes, C. H. Green and J. G. Arnold. 2007. The soil and water assessment tool : historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE* 50(4): 1211-1250.
11. Haan, C. T., D. E. Storm, T. Al-Issa, S. Prabhu, G. J. Sabbagh and D. R. Edwards. 1998. Effect of parameter distributions on uncertainty analysis of hydrologic models. *Transactions of the ASAE* 41(1): 65.
12. Hagemann, S., C. Chen, D. B. Clark, S. Flowell, S. N. Gosling, I. Haddeland, N. Hanasaki, F. Ludwig, F. Voss and A. J. Wiltshire. 2013. Climate change impact on available water resources obtained using multiple global climate and hydrology models. *Earth System Dynamics* 4(1): 129-144.
13. Hajihoseini, H., M. Hajihoseini, S. Morid and M. Delavar. 2015. Hydrological simulation of the upper hirmand transboundary catchment using SWAT model. *Journal of Water and Soil Science* 19(72): 255-268. (In Farsi).
14. Hosseini, M., M. Ghafoori, Z. Makarian and M. Tabatabaei. 2017. Estimation of Water Balance in watersheds led to west-south frontiers and persian gulf by semi distributed SWAT model. *Journal of Water and Soil Science* 20(78): 183-194. (In Farsi).
15. Joesidawati, M. I. and K. Sambodho. 2017. Sea level rise on Tuban coast in East Java and its consistency with MAGICC/SCENGEN prediction. *Applied Mechanics and Materials* 862: 83-89.
16. Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven and L. Gandin. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society* 77(3): 437-472.
17. Khan, M. S., P. Coulibaly and Y. Dibike. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology* 319(1-4): 357-382.

18. Lakzaijanpour, G. H., O. Mohamadrezapour and M. Malmir, 2016. Evaluating the effects of climatic changes on runoff of nazloochaie river in uremia lake catchment area. *Geography and Development Iranian Journal* 14(42): 183-198. (In Farsi).
19. Ma, H., D. Yang, S. Keat Tan, B. Gao and Q. Hu. 2010. Impact of climate variability and human activity on streamflow decrease in the Miyun Reservoir catchment. *Journal of Hydrology* 389(3-4): 317-324.
20. Mastrandrea, M. D., K. J. Mach, G. K. Plattner and O. Edenhofer. 2010. Guidance note for lead authors of the IPCC fifth assessment report on consistent treatment of uncertainties.
21. Muttiah, R. S. and R. A. Wurbs. 2002. Modeling the impacts of climate change on water supply reliabilities. *Water International* 27(3): p. 407-419.
22. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry and J. R. Williams. 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009, Texas Water Resources Institute.
23. Rostamian, R., F. Mousavi, M. Heidarpour, M. Afyuni and K. Abbaspour. 2009. Application of SWAT2000 model for estimating runoff and sediment in beheshtabad watershed, a sub-basin of northern karun. *Journal of Water and Soil Science* 12(46): 517-531. (In Farsi).
24. Soundharajan, B. S., A. J. Adeloje and R. Remesan. 2016. Evaluating the variability in surface water reservoir planning characteristics during climate change impacts assessment. *Journal of Hydrology* 538: 625-639.
25. Wang, J., H. Ishidaira and Z. Xu. 2012. Effects of climate change and human activities on inflow into the hoabinh reservoir in the red river basin. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1688-1698.
26. Wilby, R. L., C. W. Dawson and E. M. Barrow. 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling Software* 17(2): 145-157.
27. Yaghoubi, B., S. A. Hosseini and S. Nazif. 2017. Hydrological impact of climate change on the gavehrud watershed as affected by the parameter uncertainty. *Scientific Journal Management System* 10(32): 71-86.

## Investigation the Effect of Climate Change on the Flow Discharge of Shahid Rajaei Dam with SAWT Hydrology Model

S. Nikkhoo Amiri, M. Khoshravesh and R. Norooz Valashedi<sup>1\*</sup>

(Received: May 15-2018; Accepted: October 23-2018)

### Abstract

Today, the rising surface temperature of the planet and its effects on the water cycle have attracted the attention of many researchers. The aim of this study was to investigate the effect of climate change on the Tajan (the upstream of Shahid Rajaei dam) catchment area. In order to study the output of CanESM2 model, the SDSM method was used to estimate the magnitude of the data. Flow discharge changes in Shahid Rajaei Dam were simulated using the weather data of Kiasar synoptic station and the temperature and precipitation changes were simulated using the climate scenarios of RCP2.6 and RCP8.5 for the 2016-2066 period. Also, the effect of different scenarios on the outflow of the Soleiman Tangeh hydrometric station was evaluated by SWAT hydrologic model. The results showed that the annual precipitation would be decreased by 58% and the air temperature would be increased by 14% under RCP2.6 scenario. Also, in the RCP8.5 scenario, precipitation would be decreased by 59.5% and the temperature would be increased by 21%. Peak discharge for RCP2.6 and RCP8.5 scenarios would be increased by 4% and 5.7%, respectively, and the average annual discharge might be decreased by 16% and 16.5% in the future period (2016-2066). Therefore, it can be planned by the investigation of conditions for cropping patterns in the downstream to consider the environmental impacts for future periods.

**Keywords:** Climate Change, Tajan Basin, Annual Discharge, CanESM2, SDSM.

---

1. Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: r.norooz@sanru.ac.ir