



انجمن علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۲۳-۴۳

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17535.3304

مقاله کامل علمی - پژوهشی

بررسی اثر سناریوهای تغییر آب و هوا بر مقدار آبدهی ماهانه جریان در خروجی سد گلورد

*مجتبی خوش‌روش^۱ و رضا نوروز ولاشدی^۲

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

^۲استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر مدل‌های هیدرولوژیکی مانند مدل SWAT به‌عنوان ابزاری برای شناخت فعالیت‌های طبیعی و انسانی مؤثر بر سیستم هیدرولوژی حوضه و مدیریت و برنامه‌ریزی آن‌ها، به‌طور گسترده توسط مدیران و هیدرولوژیست‌ها به کار گرفته شد. با توجه به اینکه دشت‌های شرق مازندران، تنها منطقه ممنوعه برداشت آب زیرزمینی در شمال کشور است، بنابراین با پیش‌بینی دقیق جریان ورودی به سد گلورد برای دوره‌های آتی می‌توان برنامه‌ریزی دقیقی برای تأمین منابع آبی پایین‌دست داشت و تقاضا برای آب و توسعه کشاورزی را مدیریت نمود. بنابراین هدف این پژوهش بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات دبی جریان سد گلورد در شرق استان مازندران است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از دو مدل HadGEM2 و EC-Earth، برای تولید داده‌های دمای کمینه و بیشینه و بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ از ترکیب داده‌های ایستگاه برما و داده‌های جهانی در محل سد گلورد استفاده شد. جهت ریزمقیاس نمودن این داده‌ها مدل LARS-WG6 به کار گرفته شد. هم‌چنین برای بررسی روند پارامترهای اقلیمی از آزمون من-کندال و شیب سن استفاده شده است. سپس اطلاعات به مدل SWAT که با استفاده از داده‌ها و اطلاعات محلی واسنجی (از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ برای واسنجی و ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ برای صحت‌سنجی) شده بود، وارد شده و تغییرات رواناب نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. دقت مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان خروجی به کمک نمایه‌های ارزیابی بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پدیده تغییر اقلیم تبعات منفی بر منطقه سد گلورد دارد که باعث افزایش کمینه و بیشینه دما به‌ترتیب به مقدار ۱/۴۰ و ۲/۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود. مدل SWAT زمان وقوع دبی اوج و مقادیر دبی اوج را به‌طور مناسبی شبیه‌سازی کرده است به‌طوری‌که با زمان رخداد بارندگی شدید مطابقت دارد. مقایسه اثرات بارش و دمای کمینه و بیشینه بر جریان خروجی، بیانگر تأثیرات بیش‌تر دما نسبت به بارش بر جریان خروجی است، به‌طوری‌که در دوره پایه، کمینه دما برابر ۱/۴۱ و بیشینه دما برابر ۲/۳۴ بوده است. هم‌چنین تغییرات دبی‌های متوسط

* مسئول مکاتبه: khoshravesh_m24@yahoo.com

ماهانه در سناریوهای RCP4.5 (-۰/۰۱) و RCP8.5 (-۰/۱۱) نسبت به دبی‌های مشاهداتی (۰/۱۶-) کم‌تر است و در ماه‌های گرم سال، دبی خروجی کاهش یافته است. با بررسی درصد اختلاف بیشینه و کمینه دما و بارندگی تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه مشخص شد که افزایش دما، بیش‌تر باعث کاهش دبی خروجی در دوره آینده شده است. به طوری که اثر تغییر اقلیم بر فرایند بارش-رواناب باعث کاهش ۱۳ درصدی منابع آبی سد گلورد شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که ضریب تبخیر خاک، متوسط طول (شیب)، متوسط دمای هوا برای بارش برف (درجه سلسیوس) و شماره منحنی در شرایط رطوبتی، بیشترین تأثیر را روی دبی خروجی داشته است.

نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده صرف‌نظر از جهت تغییرات هر یک از مؤلفه‌ها، دلالت بر اهمیت الگوی زمانی تغییرات در طول سال دارد که نقش مؤثری در مدیریت منابع آب حوضه دارا است. نتایج پژوهش حاضر ضمن بیان اهمیت اثرات بالقوه تغییر اقلیم در وضعیت هیدرولوژی حوضه، لزوم توجه به بحث تغییر اقلیم و پیامدهای آن را در مدیریت منابع آب سد گلورد متذکر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، تغییر اقلیم، سد گلورد مازندران، منابع آب، SWAT, LARS-WG6

مقدمه

تغییرات آب و هوایی روی سامانه‌های منابع آب مؤثر هستند. بیش‌تر این سامانه‌ها براساس فرض شرایط هیدرولوژیکی ثابت طراحی و اجرا می‌شوند. اگر فرض ثابت شرایط هیدرولوژیکی به هم بخورد، طراحی‌های انجام گرفته با شرایط فعلی نامتناسب‌اند و بیش‌تر یا کم‌تر از حد معقول طراحی شده‌اند. اثبات فرض ثابت نبودن شرایط هیدرولوژیکی می‌تواند مشکلاتی (از جمله مکان نامناسب یا عدم تأثیر فعالیت‌ها) در مدیریت منابع آب منطقه‌ای به وجود آورد (۱۸). به این دلیل، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب نیازمند لحاظ نمودن آثار تغییرات اقلیم برای پیش‌بینی دقیق نیازهای آبی است؛ زیرا بررسی روند تغییرات جریان و آگاهی از آن در بررسی میزان آب در دسترس آبی مؤثر است (۱۱). به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد مخازن از روش‌های پیش‌بینی جریان رودخانه می‌توان استفاده نمود که شامل، روش‌های آماری، سری‌های زمانی، مدل‌های پیچیده

مبتنی بر فیزیک رواناب و شبکه‌های عصبی است. هم‌چنین می‌توان از ترکیبی از روش‌های گفته شده و نیز استفاده از سناریوهای مناسب تغییر اقلیم بهره برد (۳۰).

بررسی پژوهشگران نشان می‌دهد که تغییر اقلیم بر طیف وسیعی از پدیده‌های اقلیمی، چرخه هیدرولوژیکی، کشاورزی، اکوسیستم گیاهی و جانوری و مسائل اجتماعی اثر می‌گذارد. پدیده تغییر اقلیم و آثار آن، از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در مدیریت منابع آب شناخته شده است (۲۵). بنابراین پیش‌بینی شرایط آینده حفاظت از منابع آب و خاک با توجه به شرایط متغیر جهانی از جمله توسعه یافتگی، تغییر در کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی با در نظر گرفتن منابع محدود آب و خاک برای مدیریت صحیح و پایدار خاک و آب ضروری است. به طوری که با توجه به اهمیت پیش‌بینی آثار تغییرات آب و هوایی بر هیدرولوژی و فرایندهای اکولوژیکی برای مدیران حوضه‌های آبخیز، مطالعات متعددی برای بررسی آثار

جهانی اگر دمای کره زمین به میزان یک درجه افزایش یابد، رواناب در مقیاس جهانی ۴ درصد افزایش می‌یابد (۱۹).

مدل SWAT یکی از مدل‌های حوضه آبخیز است که نقش اصلی در تجزیه و تحلیل اثر تغییرات مدیریتی زمین بر آب در حوضه‌های پیچیده را بازی می‌کند. توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز در محیط GIS این مدل را نسبت به مدل‌های یکپارچه که در آن‌ها واحدهای کاری بزرگ‌تر مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است (۱۰). تغییر در رژیم جریان رودخانه می‌تواند بر اکوسیستم آبی، حرکت بار رسوبی و فعل و انفعالات دشت‌های سیلابی اثر بگذارد (۱۳). بررسی آثار تغییر اقلیم بر رژیم جریان رودخانه در حوضه دریاچه چامپلین در آمریکا با استفاده از سری مدل‌های CMIP5 انجام شد، نتایج بیانگر افزایش ۳۰ درصدی جریان حداکثر ۷ روزه، افزایش روزهای سیلابی و افزایش سه برابری شاخص جریان پایه است (۲۴). بحری و زاهدی (۲۰۱۶) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی جریان سطحی رودخانه حوضه آبخیز ارازکوسه استان گلستان پرداختند. برای این منظور از مدل اقلیمی LARS-WG و سناریوی انتشار A2 جهت تولید داده‌های اقلیمی دوره آتی استفاده شده و سپس با استفاده از مدل SWAT به بررسی نوسانات جریان در آینده پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که دبی رودخانه جاری در منطقه مطالعاتی در آینده نزدیک و متوسط، ۱۳ و ۵ درصد افزایش و در آینده دور، ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت (۶). هوانگ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از سناریوهای مدل‌های سری CMIP5 و روش ریز گردانی BC به بررسی آثار تغییر اقلیم بر میزان و فراوانی دبی حداقل و حداکثر پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش دبی حداقل باعث افزایش آب در دسترس در دوره‌های

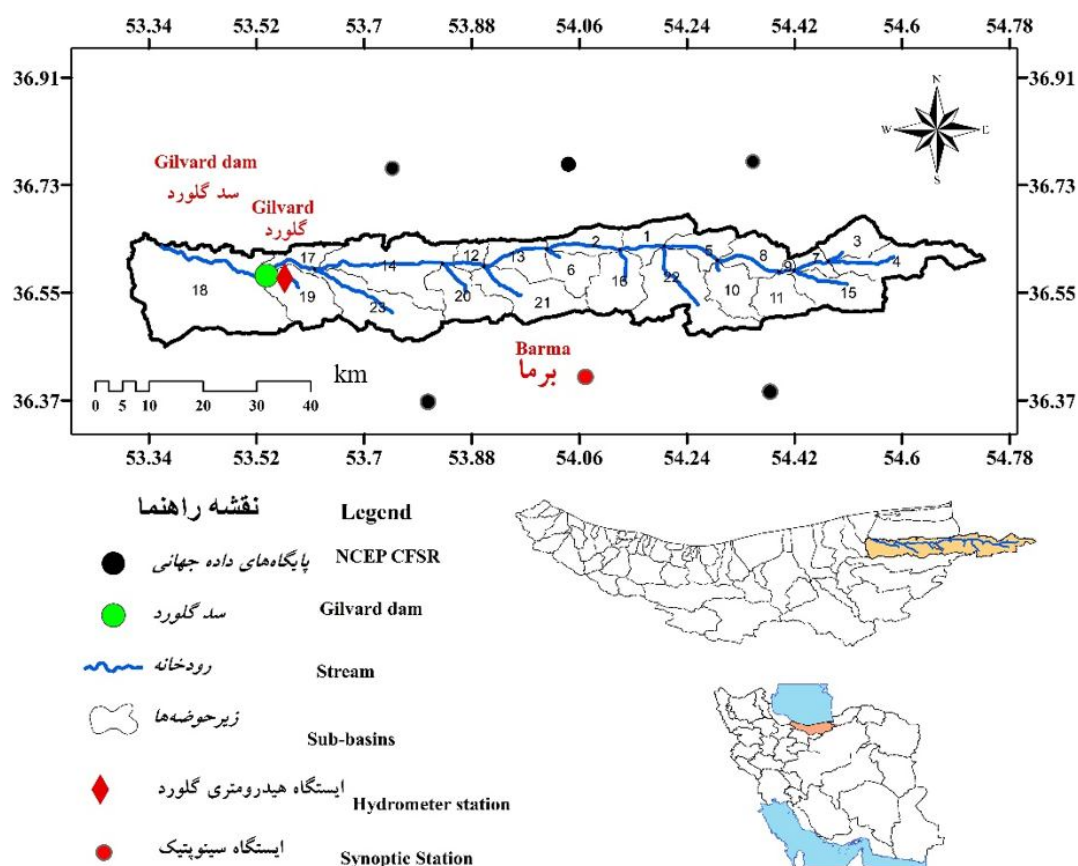
تغییر اقلیم بر دما، بارش و هیدرولوژی در مناطق مختلف انجام شده است (۳۱ و ۳۳). امروزه با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای مختلف به بررسی آثار تغییر اقلیم در زمینه‌های گوناگون پرداخته می‌شود. با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن مدل‌های گردش عمومی جو، با روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی داده‌های موردنیاز از مدل‌های گردش عمومی جو در مقیاس منطقه‌ای استخراج می‌شود. به‌طوری‌که برخی پژوهشگران بیان نموده‌اند که پدیده تغییر اقلیم با افزایش هم‌زمان تبخیر و تعرق و بارش، به تسریع چشمگیر چرخه آب کمک نموده که خود منشأ بسیاری از تغییرات دیگر خواهد بود (۴). به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو برای بازسازی اقلیم گذشته یا پیش‌بینی اقلیم آینده، این گونه مدل‌ها را به مدل‌های اقلیم جهانی (GCM) معروف نموده است. هدف مدل‌های GCM محاسبه همه شاخص‌های سه‌بعدی اقلیم در شبکه‌های مشخص است. همه عوامل اقلیمی قابل‌توجه، در مدل‌های گردش عمومی جو منظور شده است و خود بر سه نوع، گردش عمومی جو (AGCM)، گردش عمومی اقیانوس (OGCM) و مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس- جو (AOGCM) تقسیم می‌شوند. در مدل‌های گردش عمومی جو، معادلات توضیح‌دهنده تکامل زمانی دما، باد، بارش، بخار آب و فشار در ارتباط با لایه‌نازک اتمسفر (حدود ۵۰ متر) است (۵). مدل‌های INCM3، HadGEM2، NCCCSM، IPCC4 و NCPCM از مدل‌های پیوندی گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر می‌باشند که در سال‌های اخیر به‌طور وسیع به‌منظور برنامه‌ریزی برای منابع آب و مدیریت استفاده می‌شود (۴ و ۷). اعتماد به نتایج مدل‌ها تا حد زیادی متفاوت است و به‌طور عمده روش‌ها و ساختار سناریوی اقلیمی و مدل هیدرولوژیکی بستگی دارد. با استفاده از داده‌های

امروزه پیش‌بینی آثار تغییر اقلیم بر فرایندهای محیطی مورد تأیید پژوهشگران قرار گرفته است. بنابراین توجه به وضعیت هیدرولوژیکی، اکوسیستم و حتی شرایط سیاسی در ارتباط با آثار تغییر اقلیم بیش‌تر شده است. سد گلورد یکی از سدهای مهم مازندران است و نقش اساسی در حفظ حیات و زیست‌بوم منطقه دارد، در نتیجه حفظ کیفیت و کمیت آب این رودخانه دارای اهمیت فراوان است. ارزیابی آثار تغییرات آب و هوایی بر هیدرولوژی این منطقه، تا حد زیادی به مدیران، سیاست‌گذاران و دیگر ذینفعان در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار آن کمک می‌کند. از این رو پژوهش به منظور پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی حوضه بر روند تغییرات جریان سد گلورد دارای اهمیت است و نقش مهمی در مدیریت منابع آب حوضه دارد. در این پژوهش با استفاده از مدل تغییر اقلیم LARS-WG6 تغییرات بارندگی و دمای منطقه مورد مطالعه ارزیابی شد و با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT تأثیر این تغییرات بر روند دبی جریان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

سد گلورد نکا در فاصله ۴۲ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان نکا در استان مازندران قرار گرفته است. سد گلورد در مختصات طول جغرافیایی $36^{\circ} 53'$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 36'$ شمالی و در ارتفاع ۶۴۰ متر از سطح دریا قرار گرفته و دارای مساحت ۱۴۸۰ کیلومتر است. این حوضه دارای متوسط بارندگی سالانه ۵۸۵/۳ میلی‌متر، متوسط دبی سالانه ۱۳/۳۵ مترمکعب بر ثانیه و دمای ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد است. موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

خشک و هم‌چنین نمک‌زدایی اراضی پایین‌دست رودخانه می‌شود ولی از طرفی افزایش دبی حداکثر، خطر سیل‌ها را افزایش می‌دهد (۱۶). هم‌چنین در مطالعه‌ای کاویان و همکاران (۲۰۱۷) برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان خروجی حوضه هراز از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج مدل‌های اقلیمی نشان داد که متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه برای دوره آتی به ترتیب $0/63$ و $0/85$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و متوسط بارندگی سالانه برای منطقه مورد مطالعه به میزان ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. هم‌چنین نتایج مقایسه دبی جریان‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که میزان دبی اوج برای دوره آتی افزایش خواهد یافت، در حالی که متوسط دبی جریان رودخانه به مقدار ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین لازم است جهت جلوگیری از مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی طولانی‌مدت به تغییرات اقلیمی نیز توجه شود (۲۰). چنگ و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییرات اقلیمی در حوضه آبخیز چارلز بوستون ایالات متحده آمریکا با هدف برنامه‌ریزی برای کاهش سیل را بررسی نمودند. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که برنامه‌ریزی برای اثرات تغییر اقلیم بر کاهش سیلاب بسیار کارآمد است و استفاده از مدل SWAT نتیجه دقیق‌تری را خواهد داشت (۹). پاتیل و رامسانکاران (۲۰۱۷) به شبیه‌سازی جریان با توجه به رطوبت‌سنجی خاک در حوضه رودخانه‌های موتور و کریشا در هند انجام دادند، نتایج حاصل نشان‌دهنده توانایی مناسب SWAT و عملکرد مناسب آن در این پژوهش می‌باشد (۲۹). اخیراً مطالعات متعددی برای بررسی آثار تغییر اقلیم بر دما، بارش و هیدرولوژی در مناطق مختلف ایران توسط آقاخانی و همکاران (۲۰۱۹)، جلالی و همکاران (۲۰۲۰) و کردرستمی و همکاران (۲۰۲۰) انجام شده است (۳، ۱۷ و ۲۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری.

Figure 1. Geographical location of study area and spatial distribution of meteorological and hydrometric stations.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. The Characteristic of the studied stations.

نام ایستگاه Station	طول LAT	عرض LONG	ارتفاع Elevation	متغیرها Variable	
ایستگاه هیدرومتری گلورد Gilvard hydrometric station	53.37	36.35	659.98	دبی Discharge	
ایستگاه سینوپتیک برما Barma synoptic station	53.43	36.31	1200.479		
پایگاه داده جهانی NCEP CFSR	1	54.73	36.61	1021	دما و بارش Temperature and Precipitation
	2	54.19	36.67	1950	
	3	54.20	36.48	2040	
	4	53.73	36.44	900	
	5	53.27	36.53	1011	

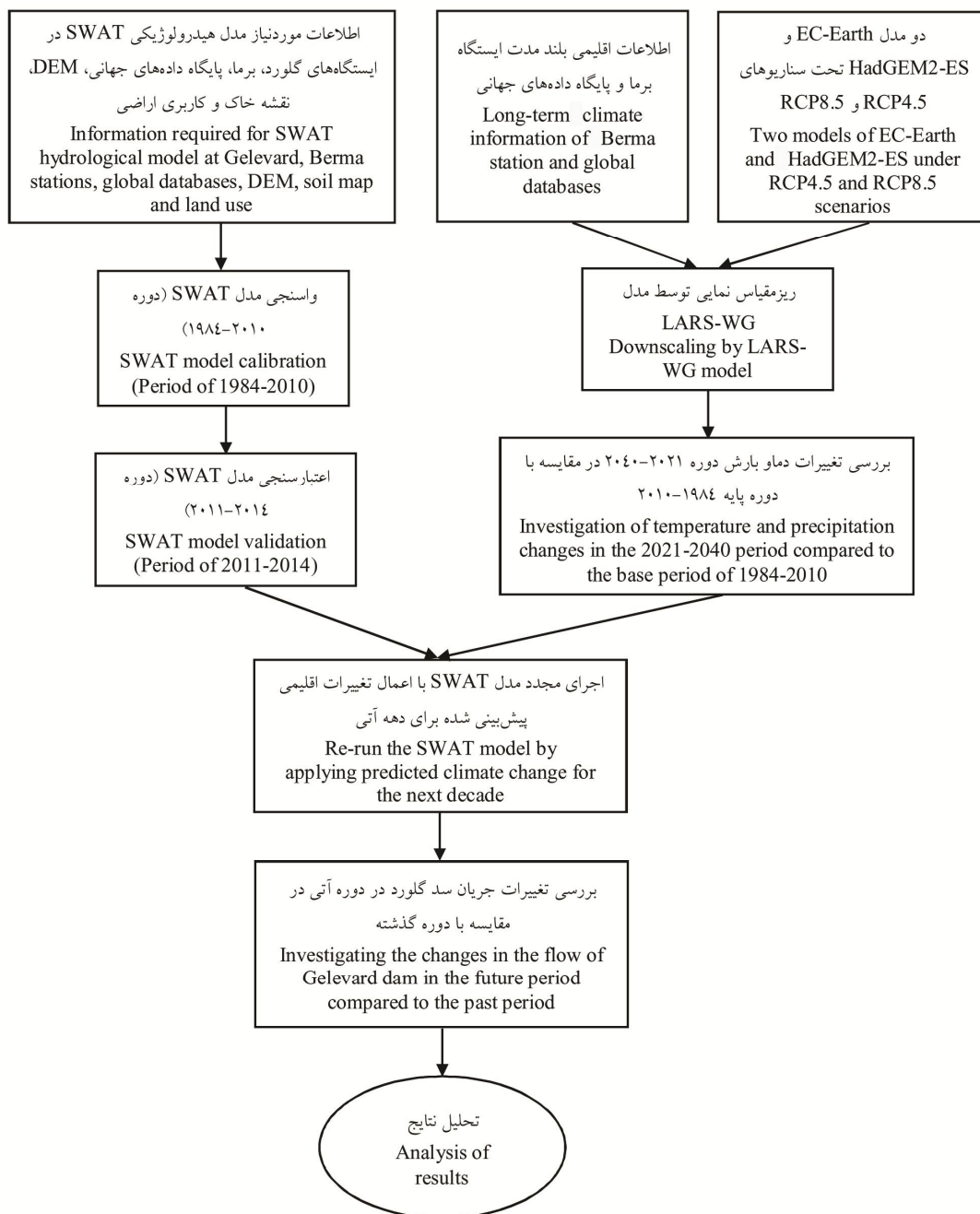
اهمیت زیادی دارد و فرایند بسیار زمان‌بر و طولانی است. به دلیل زیاد بودن پارامترهای مدل SWAT و همچنین شبیه‌سازی هم‌زمان بسیاری از متغیرهای هیدرولوژیکی و کشاورزی در این مدل، از نرم‌افزار SWAT - CUP برای آنالیز حساسیت و واسنجی آن استفاده شد.

در پژوهش حاضر، بهینه‌سازی پارامترها و آنالیز عدم قطعیت مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI2 انجام شده است. روش کار الگوریتم SUFI2 به این صورت است که ابتدا با تعریف یک تابع هدف که می‌تواند یک متغیره و یا چندمتغیره باشد، مرحله واسنجی شروع می‌شود. سپس، در مرحله بعدی برای هر پارامتریک محدوده مجازی که در SWAT-CUP در بخش Absolute SWAT- Values این محدوده مجاز مشخص شده است، اختصاص داده می‌شود. با در نظر گرفتن این شرط که متوسط بین باندهای بالا و پایین این محدوده مقدار کوچکی باشد، تغییر پیدا می‌کند (۱ و ۲). مدل چندین بار اجرا و حساسیت پارامترها بر اساس 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 موردنظر است. برای ارزیابی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی از شاخص‌های ضریب تبیین، ضریب نش ساتکلیف، P-factor و R-factor استفاده شد. در پژوهش حاضر شبیه‌سازی رواناب با استفاده از ایستگاه هیدرومتری نکارود (گلورد) از تاریخ ۱۹۸۴/۱/۱ تا ۲۰۱۰/۱/۱ برای مرحله واسنجی و برای مرحله اعتبارسنجی نیز از ۲۰۱۱/۱/۱ تا ۲۰۱۴/۱/۱ استفاده شد. داده‌های بارش روزانه، کمینه و بیشینه دما از ترکیب داده‌های هواشناسی و داده‌های پایگاه‌های اقلیمی NCEP CFSR برای شبیه‌سازی استفاده شده است. به طوری که داده‌های اقلیمی دارای دقت مکانی $1*0.3$ درجه است (۱۴ و ۱۵).

در این پژوهش به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی سد گلورد، پس از واسنجی مدل هیدرولوژیکی ارزیابی آب‌و خاک (SWAT) و مدل اقلیمی LARS-WG6 با شرایط منطقه مطالعاتی، کارایی آن‌ها در بازتولید داده‌های گذشته و شبیه‌سازی حوضه آبخیز مورد ارزیابی قرار گرفت. به طوری که مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان به سه نقشه رقوم، ارتفاع، خاک و کاربری اراضی و اطلاعات ایستگاهی (دبی، دما و بارش) نیاز دارد. در پژوهش حاضر، از نقشه DEM با دقت ۳۰ متر به همراه نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۴ (GLCC) و نقشه خاک^۱ FAO با ابعاد ۱۰ کیلومتری برای ساخت مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شد. مدل SWAT با استفاده از نقشه رقوم خاک (سه نمونه خاک)، کاربری اراضی (هشت نمونه کاربری اراضی) و کلاسه‌بندی شیب، زیرحوضه‌ها را به تعدادی واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU^۲)، تقسیم می‌کند. هر HRU واحد اصلی شبیه‌سازی در مدل SWAT است که منطقه‌ای همگن کاربری اراضی، خاک و شیب است (۲۷). سپس برون‌داد مدل گردش عمومی جو از دو مدل EC-Earth و HadGEM2-ES تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در شش ایستگاه (ایستگاه برما و داده‌های جهانی) ریزمقیاس گردید. بارش، دمای حداقل و حداکثر دهه آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با دوره گذشته (۲۰۱۰-۱۹۸۴) مقایسه شده و تغییرات این پارامترها جهت پیش‌بینی وضعیت جریان دبی منطقه مطالعاتی، وارد مدل واسنجی و اعتبارسنجی شده SWAT شد. مراحل انجام پژوهش در شکل ۲ آورده شده است.

پس از جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز و معرفی آن‌ها به مدل SWAT باید مدل واسنجی و اعتبارسنجی شود. مرحله واسنجی مدل SWAT

1- Food and Agriculture Organization
2- Hydrological Response Unit



شکل ۲- نمودار مراحل پژوهش.

Figure 2. Research Station Chart.

در مطالعات تغییر اقلیم از معتبرترین ابزارهای تولید سناریوی اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس هستند. در پژوهش حاضر، برای پیش‌بینی دو پارامتر دما و بارش از مدل‌های گردش عمومی جو که از جدیدترین گزارش

IPCC تحت عنوان «گزارش پنجم CMIP5» استخراج شده، استفاده شده است. برای دریافت خروجی این مدل‌ها نیاز به انتخاب سناریوهای انتشار است که گزارش پنجم تحت ۴ سناریوی انتشار ارائه شده که در میان آن‌ها، RCP4.5 سناریوی خوش‌بینانه

در مطالعات تغییر اقلیم از معتبرترین ابزارهای تولید سناریوی اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس هستند. در پژوهش حاضر، برای پیش‌بینی دو پارامتر دما و بارش از مدل‌های گردش عمومی جو که از جدیدترین گزارش

به‌منظور برآورد سری‌های زمانی آینده پس از برآورد سناریوها از مدل اقلیمی LARS-WG استفاده شده است. در این پژوهش از دو مدل EC-Earth و HadGEM2-ES تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای تولید داده‌های دمای کمینه و بیشینه و بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ استفاده شد (جدول ۲). ارزیابی مدل از طریق پارامترهای خطاسنجی RMSE، NS و R^2 صورت گرفت. هم‌چنین برای بررسی روند پارامترهای اقلیمی از آزمون من-کندال و شیب سن استفاده شد (۲۲).

و RCP8.5 سناریوی بدبینانه هستند (۲۳). در پژوهش حاضر نیز دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های GCM در دوره‌های گذشته با محاسبه میزان تغییرات آن‌ها در دوره‌های آینده نسبت به گذشته انجام شده است. در این روش برای دما از اختلاف بین دو متغیر و برای بارش از نسبت بین آن‌ها استفاده می‌شود. مقادیر به‌دست‌آمده همان سناریوهای تغییر اقلیم هستند. در نهایت، برای به دست آوردن سری زمانی مدنظر سناریوی اقلیمی برای یک پارامتر، مقادیر به‌دست‌آمده بر داده‌های مشاهداتی اعمال می‌شوند.

جدول ۲- خصوصیات مدل‌های GCM مورد استفاده در پژوهش.

Table 2. The characteristics of GCM Models used in the research.

مکانی Spatial resolution	توسعه‌دهنده Developer	مدل Model
$1.125^\circ \times 1.125^\circ$	Europe	EC-Earth
$1.125^\circ \times 1.875^\circ$	MOHC (UK)	HadGEM2-ES

(شیب)، متوسط دمای هوا برای بارش برف (درجه سلسیوس) و شماره منحنی در شرایط رطوبتی، بیش‌ترین تأثیر را روی دبی خروجی داشته است. گلشن و همکاران (۲۰۱۴) در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز هراز با مدل SWAT در مرحله آنالیز حساسیت، پارامترهای r_{CN2} و V_{SMFMX} را به‌ترتیب حساس‌ترین و غیرحساس‌ترین پارامترها معین نموده‌اند. این مقایسه نشان داده است که پارامتر CN2 در این حوضه برخلاف حوضه هراز در شبیه‌سازی از حساسیت کم‌تری برخوردار است (۱۲). این نتایج همسو با نتایج نیکخو و همکاران (۲۰۱۹) است، که برای شبیه‌سازی جریان در سد شهید رجایی نشان دادند که حساس‌ترین پارامترها شامل حداقل میزان ذوب برف، ظرفیت آب قابل‌دسترس در خاک،

نتایج و بحث

مدل SWAT با استفاده از داده‌های ایستگاه هیدرومتری نکارود (گلرود) و پارامترهای حساس واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی در جدول ۳ آورده شده است. به‌منظور واسنجی مدل توسط الگوریتم SUFI2 از پارامترهای حساس در منطقه مطالعاتی استفاده شد که در جدول ۴ بازه مقادیر پارامترها و مفاد بر بهینه مشخص شده، نشان داده شده است. رتبه‌بندی پارامترها توسط دو مقدار p-value و t-state مشخص شد؛ به این صورت که هرچه مقدار قدرمطلق t-state بیش‌تر و p-value آن نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر تأثیر بالاتری دارد. با توجه به موارد ذکرشده ضریب تبخیر خاک، متوسط طول

حداقل مقدار آب برف و متوسط دمای هوا برای
 منحنی در شرایط رطوبتی و چگالی خاک در حالت
 بارش برف می‌باشند. همچنین پارامترهای شماره
 مرطوب دارای حساسیت کم‌تری می‌باشند (۲۸).

جدول ۳- نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی مدل SWAT.

Table 3. The results of sensitivity analysis of input parameters of SWAT model.

P-value	t-stat	پارامتر Parameter	علامت اختصاری پارامتر در مدل Parameter acronym in the model
-0.013	0.05	ضریب α آب‌پایه Base water α	v__ALPHA_BF.gw
117.18	254.68	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل خاک به سطح آب زیرزمین (روز) Delay time transfer of water from the last soil profile to the groundwater level (day)	v__GW_DELAY.gw
0.04	1.45	حداقل میزان ذوب برف در ۲۱ ژوئن (mmH ₂ O/C-day) Minimum melting point on June 21 (mmH ₂ O/C-day)	v__GWQMN.gw
0.026	2.36	ظرفیت آب قابل دسترس Available water capacity	r__SOL_AWC(1).sol
0.022	3.02	هدایت هیدرولیکی خاک (mm/hr) Hydraulic conductivity of soil (mm/hr)	r__SOL_K(1).sol
0.0004	2.54	ضریب مانینگ رودخانه اصلی Manning coefficient of main river	v__CH_N2.rte
0.01	5.61	هدایت هیدرولیکی موثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr) Effective hydraulic conductivity of the main river bed (mm/hr)	v__CH_K2.rte
0.002	4.55	ضریب مانینگ برای جریان سطحی Manning coefficient for surface flow	r__OV_N.hru
0	4.42	ضریب تبخیر خاک Soil evaporation coefficient	a__ESCO.hru
0		متوسط طول (شیب) Average length (Slope)	r__SLSUBBSN.hru
0	5.33	متوسط دمای هوا برای بارش برف (درجه سلسیوس) Average snow temperature (Celsius)	v__SFTMP.bsn
4.02	5.86	زمان ذخیره‌سازی برای جریان طبیعی Storage time for normal flow	v__MSK_CO1.bsn
0.3	1.55	زمان ذخیره‌سازی برای جریان کم Storage time for low flow	v__MSK_CO2.bsn
0.29	1.04	ضریب α آب‌پایه برای ذخیره ساحلی کانال Coefficient α of base water for coastal channel storage	v__ALPHA_BNK.rte
0.54	0.95	دمای ذوب توده برف (درجه سلسیوس) Snow melting temperature (degrees Celsius)	v__SMTMP.bsn
0.83	0.69	حداکثر میزان ذوب برف در ۲۱ ژوئن (mmH ₂ O/C-day) Maximum melting point on June 21 (mmH ₂ O/ C-day)	v__SMFMX.bsn
0.74	0.65	چگالی خاک در حالت مرطوب Soil density in wet condition	r__SOL_BD(1).SOL
0	6.22	شماره منحنی در شرایط رطوبتی ۲ Curve number under moisture conditions	r__CN2.mgt

حروف r و v به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات نسبی (ضرب در مقادیر پارامتر به صورت درصد) و مطلق (جایگزین مقادیر پارامتر) می‌باشند.

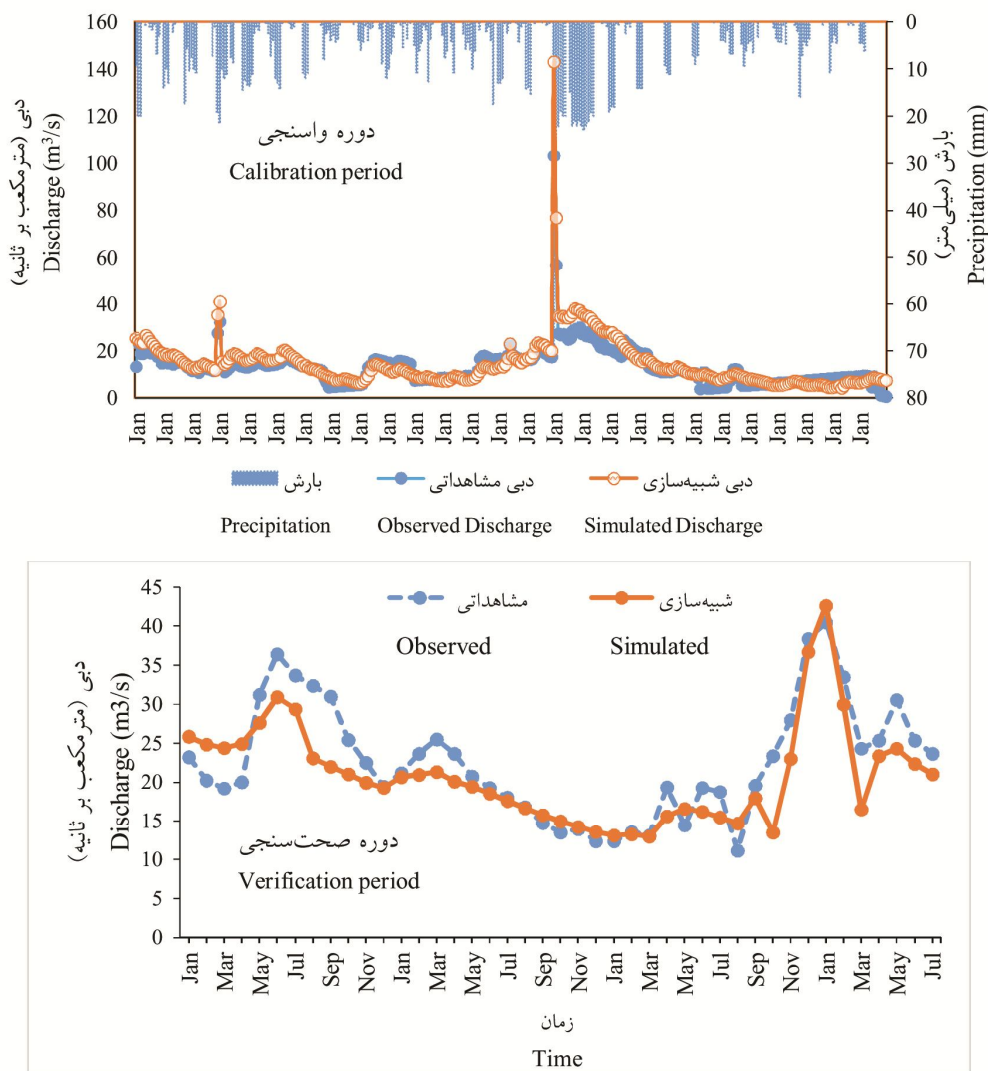
جدول ۴- پارامترهای منتخب نهایی در مرحله واسنجی به ترتیب میزان حساسیت.

Table 4. The final selected parameters in the calibration step with the order of sensitivity.

مقدار بهینه برازش یافته Optimal fit value	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	علامت اختصاری پارامتر در مدل Parameter acronym in the model
0.01	-0.13	0.05	v__ALPHA_BF.gw
224.12	117.18	254.68	v__GW_DELAY.gw
1.06	0.99	1.45	v__GWQMN.gw
0.56	0.55	0.76	r__SOL_AWC(1).sol
0.38	-0.01	0.48	r__SOL_K(1).sol
0.41	0.26	0.34	v__CH_N2.rte
132.06	89.61	140.43	v__CH_K2.rte
-0.36	-0.33	-0.22	r__OV_N.hru
0.17	0.12	0.19	a__ESCO.hru
3.93	0.4	9	r__CN2.mgt

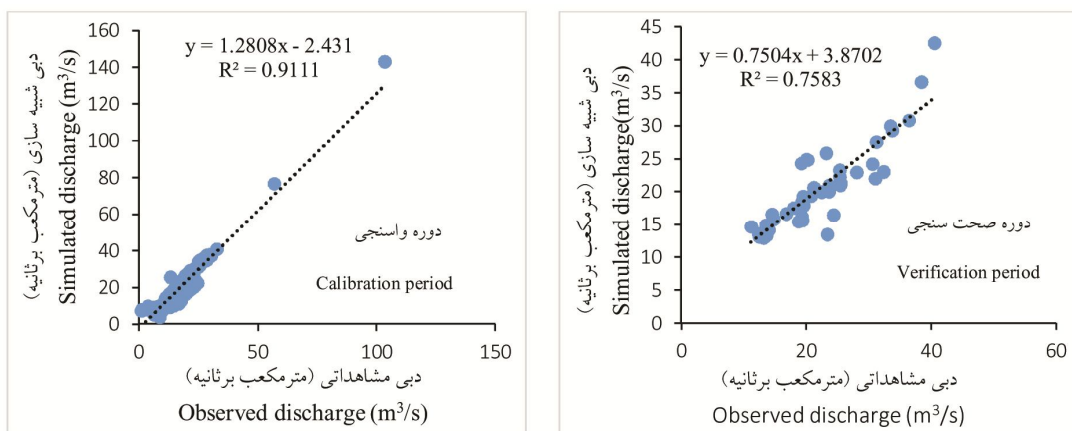
مناسبی شبیه‌سازی کرده است به طوری که با زمان رخداد بارندگی شدید مطابقت دارد. طبق نتایج حاصله، بیش‌ترین مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده برابر با ۳۶/۱ مترمکعب بر ثانیه در ماه ژانویه سال ۲۰۰۰ است که بیش‌ترین مقدار دبی اوج اندازه‌گیری شده در این تاریخ برابر با ۲۷/۳۲ مترمکعب بر ثانیه و مقدار بارندگی برابر با ۹۵ میلی‌متر است. کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی اوج با مطالعات کالکیک و همکاران (۲۰۱۵) و بیگر و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی داشته است (۸ و ۱۹).

شکل ۳ نتایج حاصل از اجرای مدل برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه، در ایستگاه هیدرومتری نکارود را برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. متوسط دبی شبیه‌سازی شده برای دوره زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ برابر با ۱۴/۶۷ مترمکعب بر ثانیه است که به متوسط دبی اندازه‌گیری شده (۱۳/۳۵ مترمکعب بر ثانیه) نزدیک است و مقدار دبی شبیه‌سازی شده برای اکثر دوره زمانی در محدوده عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار دارد. هم‌چنین مدل SWAT، زمان وقوع دبی اوج و مقادیر دبی اوج را به‌طور



شکل ۳- نتایج حاصل از اجرای مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب در دوره واسنجی و صحت‌سنجی.

Figure 3. The results of SWAT model for runoff simulation in calibration and verification period.



شکل ۴- هم‌پوشانی و ضریب تبیین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده برای دوره واسنجی (الف) و صحت‌سنجی (ب).

Figure 4. The Overlap and coefficient of explanation of the observed and simulated values for calibration and verification period.

جدول ۵- ارزیابی کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی دبی جریان سد گلورد.

Table 5. The evaluation of SWAT model for simulation of flow of Gelevard dam.

دوره Period	دوره آماری Statistical period	نمایه‌های آماری Statistical indicators			
		p-factor	r-factor	NS	R ²
واسنجی Calibration	1984-2010	0.54	0.38	0.76	0.91
صحت‌سنجی Validation	2011-2014	0.21	0	0.53	0.75

آوردند. نظری و همکاران (۲۰۱۸) در برآورد حجم رواناب زیرحوضه سد گراتی با استفاده از مدل SWAT، مقادیر MSE، R² و NS را برای واسنجی دبی ماهانه ایستگاه بیدواز اسفراین به ترتیب برابر ۰/۵۱، ۰/۸۷ و ۰/۶۴ به دست آوردند (۲۶). تأثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی بر میانگین بارش سالانه برای ایستگاه‌های هواشناسی موجود برای دوره پایه (۱۹۸۴-۲۰۱۴) به ترتیب ۲۹۴ و ۴۰۲ میلی‌متر است. همچنین کمینه بارش سالانه برای منطقه ۲۴۲ میلی‌متر در سال ۲۰۱۰ و بیشینه بارش سالانه ۵۹۵ میلی‌متر در سال ۱۹۹۷ است. آماره خطاسنجی مدل LARS-WG6 در جدول ۶ ارائه شده است.

در شکل ۴ پراکنش مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل بر روی خط ۱:۱ نشان داده شده است. نمایه‌های آماری نشان می‌دهد که مدل از دقت بالایی برای شبیه‌سازی رواناب منطقه برخوردار است (جدول ۵). شاخص‌های ارزیابی مدل SWAT نشان داد که در مرحله واسنجی ضریب نش-ساتکلیف برابر ۰/۷۶ و ضریب تبیین ۰/۹۱ و در مرحله صحت‌سنجی این ضرایب به ترتیب برابر ۰/۵۳ و ۰/۷۵ به دست آمدند. نتایج این پژوهش با یافته‌های مرید و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. آن‌ها در مطالعه حوضه آبخیز رودخانه کردان، ضرایب NS و R² برای دوره واسنجی را به ترتیب برابر ۰/۷ و ۰/۷۱ و برای دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۶۹ و ۰/۷ به دست

جدول ۶- آماره خطاسنجی مدل LARS-WG6 متغیر بارش بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه‌های مختلف.

Table 6. Calculation statistics of LARS-WG6 model for precipitation variable between observed and simulated data for different stations.

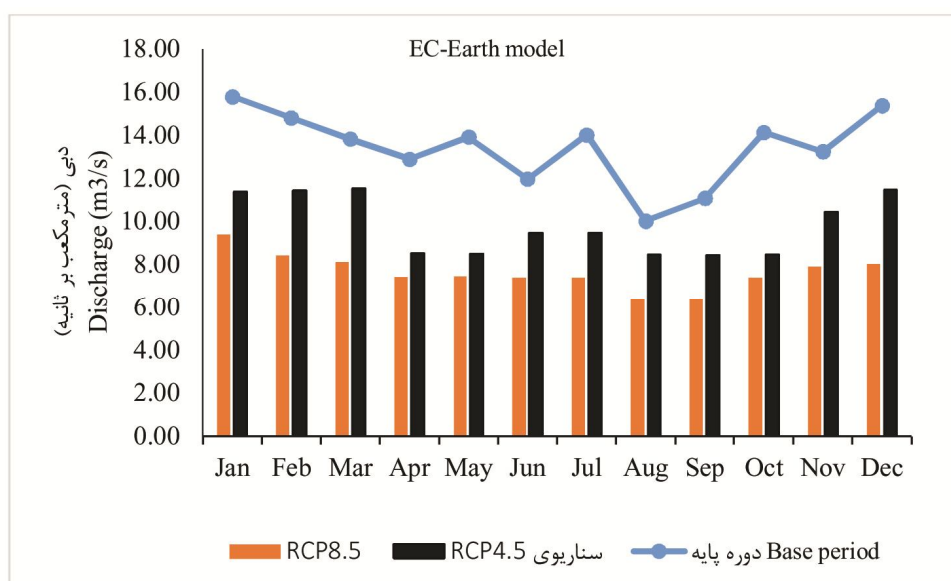
ایستگاه Station	میانگین بارش ماهانه The average monthly precipitation		
	R ²	NS	RMSE
1	0.90	0.91	1.23
2	0.93	0.85	0.99
3	0.93	0.87	1.10
4	0.78	0.60	2.1
5	0.96	0.95	1.33
Barma	0.98	0.90	0.89

نوسانات جریان خروجی در ایستگاه نکارود (گلورد) مورد ارزیابی قرار گرفت. به طوری که از دو مدل EC-Earth و HadGEM2-ES، مدل EC-Earth توانست دبی جریان خروجی در این منطقه را بهتر شبیه سازی کند. طبق شکل های ۵ و ۶ برآورد دبی با مدل EC-Earth تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 با دبی دوره پایه همخوانی بیشتری دارد.

همچنین شکل ۷ تغییرات ماهانه دوره پایه بارش و دبی (۲۰۱۰-۱۹۸۴)، دبی شبیه سازی شده، دبی و بارش تحت سناریوی RCP4.5 (دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۱) با استفاده از نمره استاندارد (Z) را نشان می دهد

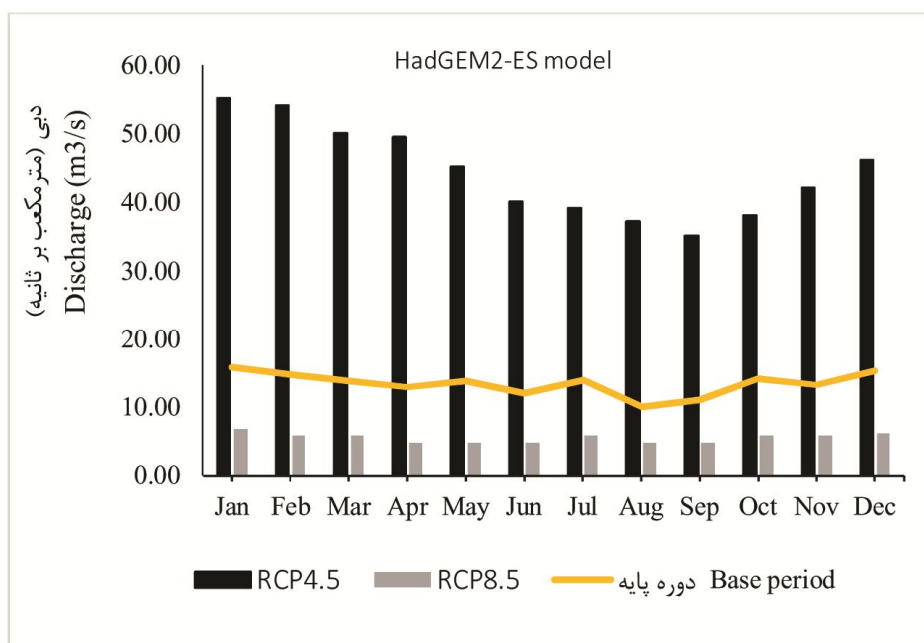
جهت اطمینان به کارایی مدل LARS-WG آماره های خطاسنجی در هر شش ایستگاه مورد بررسی قرار گرفته و در جدول ۶، نتایج آن صرفاً برای متغیر بارش در ایستگاه برما و پنج ایستگاه جهانی آورده شده است. با توجه به این که مقادیر آماره NS و R^2 برای متغیر بارش نزدیک به عدد یک است و همچنین کوچک بودن خطای RMSE، می توان بیان داشت که مدل LARS-WG دارای دقت مدل سازی بالایی برای داده های اقلیمی سد گلورد است. این نتایج، همسو با نتایج بحری و زاهدی (۲۰۱۶) است. (۶)

در این پژوهش با استفاده از خروجی های (متغیرهای اقلیمی) مدل ریزمقیاس نمای LARS-WG در مدل هیدرولوژیکی SWAT، تأثیر تغییرات آب و هوا بر

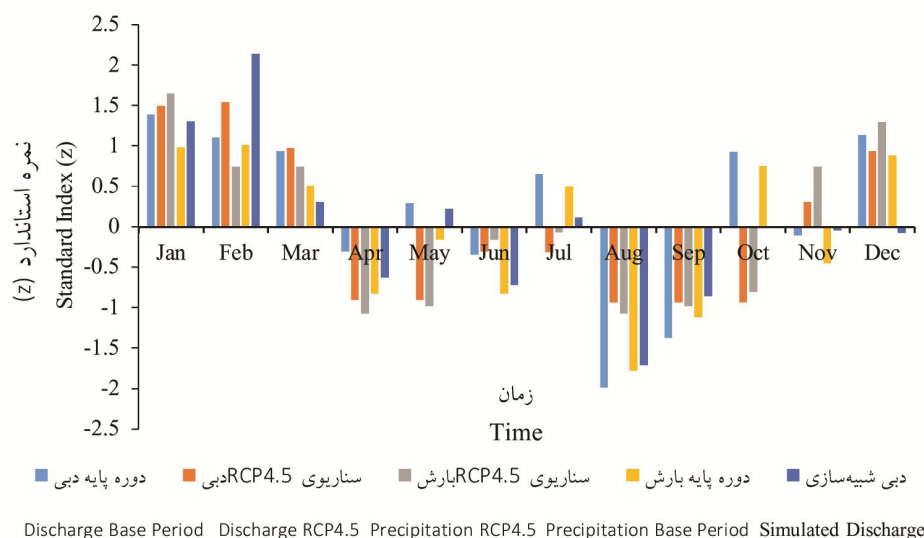


شکل ۵- مقایسه میانگین ماهانه دبی تحت سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و دوره پایه.

Figure 5. Comparison of monthly average discharge under RCP4.5, RCP8.5 scenarios and base period.



شکل ۶- مقایسه میانگین ماهانه دبی تحت سناریوهای RCP4.5, RCP8.5 (دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۱) و دوره پایه (۱۹۸۴-۲۰۱۰).
 Figure 6. Comparison of monthly average discharge under RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 scenarios and base period.



شکل ۷- بررسی تغییرات ماهانه دوره پایه بارش و دبی (۱۹۸۴-۲۰۱۰)، دبی شبیه‌سازی شده، دبی و بارش تحت سناریوی RCP4.5 (دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۱) با استفاده از نمره استاندارد (Z).
 Figure 7. Evaluation of monthly Variations in precipitation and discharge (2010-1984), simulated discharge, precipitation and discharge under RCP4.5 scenario (period 2041-2021) using standard index (Z).

سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دبی‌های مشاهداتی کمتر است به خصوص در ماه‌های گرم سال دبی خروجی کاهش یافته است (شکل ۵).

مقایسه اثرات بارش و دمای کمینه و بیشینه بر جریان خروجی مطابق جدول ۷، بیانگر تأثیرات بیش‌تر دما نسبت به بارش بر جریان خروجی است. همچنین تغییرات دبی‌های متوسط ماهانه در

جدول ۷- درصد تغییرات میانگین ماهانه دما و بارش تحت سناریوهای RCP4.5, RCP8.5 نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۴).

Table 7. Percentage of monthly mean changes in temperature and precipitation under RCP4.5, RCP8.5 scenarios related to base period.

ماه Month	RCP4.5			RCP8.5		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	P (mm)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	P (mm)
Jan	1.4231	1.3816	0.6012	2.2967	2.4403	0.5527
Feb	1.4153	1.3719	0.5983	2.2898	2.4322	0.5488
Mar	1.4034	1.3562	0.6034	2.2796	2.4188	0.5535
Apr	1.4062	1.3574	0.5976	2.2823	2.4202	0.5503
May	1.4089	1.3559	0.5962	2.2841	2.4170	0.5492
Jun	1.4099	1.3515	0.5945	2.2855	2.4134	0.5473
Jul	1.4118	1.3464	0.5983	2.2888	2.4101	0.5506
Aug	1.4527	1.4253	0.5976	2.3305	2.4897	-0.0100
Sep	1.4466	1.4108	0.5997	2.3237	2.4745	-0.0600
Oct	1.4385	1.3983	0.6056	2.3157	2.4609	0.5586
Nov	1.4325	1.3884	0.5963	2.3100	2.4497	0.5486
Dec	1.4286	1.3861	0.5769	2.3044	2.4456	0.5280

سناریوهای اقلیمی دارای روند افزایشی بوده و فقط در دوره پایه در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۸). طبق مطالعه‌ای که وانگ و همکاران (۲۰۱۲) در آن به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان‌ات ورودی به مخزن هوآبینه در حوضه رودخانه سرخ پرداختند نشان دادند که از بین پارامترهای اقلیمی، تغییرات دما اثر بیش‌تری نسبت به بارش بر روند جریان و تغییرات ورود به مخزن هوآبینه دارد (۳۲).

با بررسی درصد اختلاف بیشینه و کمینه دما و بارندگی تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه، افزایش دما باعث تأثیر بیش‌تری بر کاهش دبی خروجی در دوره آینده شده است. همچنین روند بارش نیز در دوره پایه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای آینده کاهش یافته و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. دبی جریان خروجی نیز دارای روند کاهش یافته ولی معنی‌دار نیست. مقادیر بیشینه و کمینه دما در دوره پایه و تحت

جدول ۸- نتایج آماره من-کندال (Z) و تخمین‌گر سن (β) برای بیشینه و کمینه دما، بارش و دبی در دوره پایه و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۸.

Table 8. The results of Mann-Kendall (Z) and Sen estimator (β) for maximum and minimum temperature, precipitation and discharge in the base period and RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for 2000-2018.

شیب‌خط سن Sen gradient	آزمون من-کندال Mann-Kendall tests	سری زمانی Time series	پارامتر Parameter
$\beta(km^2 yr^{-1})$	Z		
*1.41	0.04	دوره پایه Base period	کمینه دما (درجه سانتی‌گراد) Minimum emperature (°C)
0.003	0.33	RCP4.5	
0.01	0.27	RCP8.5	
*2.34	0.06	دوره پایه Base period	بیشینه دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)
0.01	0.21	RCP4.5	
0.9	0.303	RCP8.5	
*0	-0.02	دوره پایه Base period	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)
*-0.002	-0.45	RCP4.5	
*-0.001	-0.69	RCP8.5	
-0.16	-0.15	دوره پایه Base period	دبی (مترمکعب بر ثانیه) Discharge (m ³ /s)
-0.01	0.21	RCP4.5	
-0.11	-0.45	RCP8.5	

* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵٪

* Significant at 95% probability level

نتیجه‌گیری کلی

شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی با یکدیگر مطابقت دارد. بنابراین تغییرات اقلیمی ریزمقیاس‌شده بر ورودی‌های مدل اعمال شد و تغییرات حاصله در خروجی منطقه ارزیابی شد. در پژوهش حاضر بیش‌ترین کاهش دبی در سناریوی بدبینانه RCP8.5 در ماه‌های می، ژوئن و اوت پیش‌بینی شده که می‌تواند آثار بسیار بدی روی مقادیر آب ذخیره‌شده در مخزن سد گلودر تا شروع بارندگی‌های مجدد داشته باشد. البته، باید توجه

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر دبی سد گلودر انجام گرفت. با توجه به ضرایب آماری به‌دست‌آمده، مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی منطقه از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشند. مقدار و زمان وقوع دبی اوج شبیه‌سازی‌شده متناسب با دبی اوج مشاهداتی است. هم‌چنین روند صعودی و نزولی هیدروگراف سیل

پژوهشی با کد قرارداد ۱۳-۱۳۹۷-۰۲، کمال تشکر را دارند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با کد قرارداد ۱۳-۱۳۹۷-۰۲ می‌باشد. این پژوهش طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ در محل سد گلورد انجام شد.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

داشت که عدم قطعیت، نتایج مطالعات ارزیابی آثار اقلیم را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و به‌دلیل مشخص نبودن وضعیت اقتصادی، اجتماعی آینده جامعه بشری نمی‌توان به‌صراحت میزان مشخصی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفت. هم‌چنین نتایج نشان داد که میزان دبی جریان سد گلورد برای دوره زمانی آینده به‌طور متوسط به مقدار ۱۳ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج به‌دست‌آمده صرف‌نظر از جهت تغییرات هر یک از مؤلفه‌ها، دلالت بر اهمیت الگوی زمانی تغییرات در طول سال دارد که نقش مؤثری در مدیریت منابع آب حوضه دارا است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌دلیل تأمین هزینه‌های طرح

منابع

1. Abbaspour, K. 2015. SWAT Calibration and Uncertainty Programs-A User Manual. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology: Eawag, Switzerland. 100p.
2. Abbaspour, K.C. 2011. SWAT-CUP4: SWAT calibration and uncertainty programs—a user manual. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag. 100p.
3. Aghakhani, M., Nasrabadi, T., and Nejad, A.V. 2019. Hydrological Simulation of Taleqan Watershed Using SWAT. Environmental Science and Technology, 21: 147-159.
4. Andreadis, K.M., and Lettenmaier, D.P. 2006. Trends in 20th century drought over the continental United States. Geophysical Research Letters, 33: 3. 1-4.
5. Arnold, J. 1994. SWAT-soil and water assessment tool. 506p.
6. Bahri, M., and Zahedi, E. 2016. Investigation of climate change impacts on streamflow regime of a river Arazkooseh river basin. Sci. J. Manage. Syst. 16: 42. 109-132.
7. Bavay, M., Grünewald, T., and Lehning, M. 2013. Response of snow cover and runoff to climate change in high Alpine catchments of Eastern Switzerland. Advances in Water Resources, 55: 4-16.
8. Bieger, K., Hörmann, G., and Fohrer, N. 2015. Detailed spatial analysis of SWAT-simulated surface runoff and sediment yield in a mountainous watershed in China. Hydrol. Sci. J. 60: 5. 784-800.
9. Cheng, C., Yang, Y.E., Ryan, R., Yu, Q., and Brabec, E. 2017. Assessing climate change-induced flooding mitigation for adaptation in Boston's Charles River watershed, USA. Landscape and Urban Planning, 167: 25-36.
10. Fazeli Farsani, A., and Ghazavi, R. 2019. Investigating the effects of land use change on surface runoff using SWAT model. J. Water Soil Cons. 25: 6. 191-206. (In Persian)
11. Fu, G., Barber, M.E., and Chen, S. 2007. Impacts of climate change on regional hydrological regimes in the Spokane River Watershed. J. Hydrol. Engin. 12: 5. 452-461.

12. Golshan, M., Kavian, A., Ruohani, H., and Esmali Ouri, A. 2015. Effect of Scale on SWAT Model Performance in Simulation of Runoff (Case Study: Haraz Catchment in Mazandaran Province). *Iran. J. Soil Water Res.* 46: 2. 293-303. (In Persian)
13. Gosain, A., Rao, S., and Basuray, D. 2006. Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins. *Current Science*, 90: 3. 346-353.
14. Hajihoseini, H., Hajihosseini, M., Najafi, A., Morid, S., and Delavar, M. 2015. Assessment of changes in hydro-meteorological variables upstream of Helmand Basin during the last century using CRU data and SWAT model. *Iran-Water Resources Research*, 10: 3. 38-52. (In Persian)
15. Higgins, R., Kousky, V., Silva, V., Becker, E., and Xie, P. 2010. Intercomparison of daily precipitation statistics over the United States in observations and in NCEP reanalysis products. *J. Clim.* 23: 17. 4637-4650.
16. Hoang, L.P., Lauri, H., Kumm, M., Koponen, J., Van Vliet, M., Supit, I., Leemans, R., Kabat, P., and Ludwig, F. 2016. Mekong River flow and hydrological extremes under climate change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20: 3027-3041.
17. Jalali, M.N., Sarai Tabrizi, M., and Babazadeh, H. 2020. Investigating the effect of climate change on water flow and water balance of Latyan dam using SWAT model. *Iran. J. Ecohydrol.* 7: 1. 17-28. (In Persian)
18. Kahya, E., and Kalaycı, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *J. Hydrol.* 289: 1. 128-144.
19. Kalcic, M.M., Chaubey, I., and Frankenberger, J. 2015. Defining Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic response units (HRUs) by field boundaries. *Inter. J. Agric. Biol. Engin.* 8: 3. 69-80.
20. Kavian, A., Namdar, M., Golshan, M., and Bahri, M. 2017. Hydrological modeling of climate changes impact on flow discharge in Haraz river basin. *J. Natur. Environ. Hazard.* 6: 89-104. (In Persian)
21. Kord Rostami, F., Pedram, A., Omid Bozorg, H., Vahid, E., Karim, A., and Ralf, L. 2020. Evaluation of hydrological response of Latian Dam watershed to afforestation in semi-arid climate. *Iran. J. For.* 12: 1. 89-100. (In Persian)
22. Malkian, A., Mirdashtvan, M., and Ghadimi, M. 2019. Investigating the impacts of climate change on some hydrological characteristics of water resources in Ardebil province. *Iran. J. Ecohydrol.* 6: 6. 695-705. (In Persian)
23. Massah Bavani, A., and Mord, S. 2006. Study effects of climate change on zayande rood discharge. *J. Water Soil Sci.* 17: 47-27. (In Persian)
24. Mohammed, I.N., Bomblies, A., and Wemple, B.C. 2015. The use of CMIP5 data to simulate climate change impacts on flow regime within the Lake Champlain Basin. *J. Hydrol: Region. Stud.* 3: 160-186.
25. Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., and Hibbard, K. 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions. in *Proceedings of the Climate Change, Impacts, and Response Strategies (IPCC Expert Meeting Report, IPCC, Geneva, 2008)*.
26. Nazari, B., Batoukhteh, F., Mohammadi Ghaleni, M., and Ababaei, B. 2018. The estimation of runoff and sediment volume of in the Geraty sub basin using the SWAT model. *J. Water Soil Cons.* 25: 4. 321-330. (In Persian)
27. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
28. Nikkhoo Amiri, S., Khoshravesh, M., and Norooz Valashedi, R. 2019. Simulation of outflow time series at shahid Rajaei dam using SWAT model. *J. Irrig. Water Engin.* 10: 37. 67-81. (In Persian)
29. Patil, A., and Ramsankaran, R. 2017. Improving streamflow simulations and forecasting performance of SWAT

- model by assimilating remotely sensed soil moisture observations. *J. Hydrol.* 555: 683-696.
30. Piri, J., Amin, S., Moghaddamnia, A., Keshavarz, A., Han, D., and Remesan, R. 2009. Daily pan evaporation modeling in a hot and dry climate. *J. Hydrol. Engin.* 14: 8. 803-811.
31. Stager, J.C., and Thill, M. 2010. *Climate Change in the Champlain Basin: What natural resource managers can expect and do*, The Nature Conservancy. 38p.
32. Wang, J., Ishidaira, H., and Xu, Z. 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.
33. Xu, H., and Luo, Y. 2015. Climate change and its impacts on river discharge in two climate regions in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19: 4609-4618.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(4), 2020

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17535.3304

Research Full Paper

Investigation the effect of climate change scenarios on the monthly flow discharge at the outlet of Gelevard Dam

*M. Khoshravesh¹ and R. Norooz Valashedi²

¹Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,

²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 01.04.2020; Accepted: 08.26.2020

Abstract

Background and Objectives: In recent years, hydrological models such as the SWAT model have been widely used by managers and hydrologists as a tool to identify natural and human activities affecting the basin hydrological system and their management and planning. As the eastern plains of Mazandaran is the only forbidden groundwater harvesting area in the north of the country, thus, with accurate prediction of inflow to the Gelevard dam for future periods, can provide accurate planning for downstream water supplies and manage demand for water and agricultural development. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effect of climate change on the fluctuations of the flow discharge of Gelevard Dam in the east of Mazandaran province.

Materials and Methods: In this study, HadGEM2 and EC-Earth models were used to produce the minimum and maximum temperature and precipitation data for the period of 2021-4040 using a combination of Berma station data and global data at the Gelevard Dam. The LARS-WG6 model was used to fine-tune this data. Also, the Mann-Kendall and Sen Gradient tests were used to study the trend of climate parameters. Then, the data were entered to the SWAT model which was calibrated using local data and information (from 1984 to 2010 for calibration and 2011 to 2014 for validation) and the runoff changes were evaluated. The accuracy of the SWAT model in simulation of the output current was evaluated using evaluation indexes.

Results: The results showed that the climate change had negative effects on the climate of the Gelevard dam area which increased the minimum and maximum temperatures by 1.40 and 2.40 °C, respectively. The SWAT model appropriately simulated the time of peak discharge and the peak discharge values so that it corresponds to the time of high rainfall event. Comparison of the effects of precipitation and the minimum and maximum temperatures on the outflow indicates that the effects of temperature are more than the precipitation, so that in the basic period, the minimum temperature is equal to 1.41 and the maximum temperature is 2.34. Also, the changes of monthly mean discharges in RCP4.5 (-0.01) and RCP8.5 (-0.11) scenarios are lower than the observed discharges (-0.16) and the output discharge is reduced in the hot months of the year. By investigating the percentage of difference between maximum and minimum temperature and rainfall under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios compared to the base period found that increasing of temperature caused more reduction in outflow rate in the future period. So that the effect of climate change on rainfall-runoff process reduced the water resources of Gelevard dam by 13%. The results of sensitivity analysis showed that soil evaporation coefficient, average length (slope), mean air temperature for snowfall (degree Celsius) and curve number in moisture conditions had the most effect on the output discharge.

* Corresponding Author; Email: khoshravesh_m24@yahoo.com

Conclusion: The results, irrespective of the changes in each component, indicate the importance of the temporal pattern of changes throughout the year which has an important role in the water resources management of the basin. The results of the present study, emphasize the importance of potential effects of climate change at basin hydrology status, highlights the climate change and implications in the management of water resources in the Gelevard Dam.

Keywords: Climate change, LARS-WG6, Mazandaran Gelevard Dam, Sensitivity analysis, SWAT, Water resources

