

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب (مطالعه موردي: حوضه بهشت آباد، کارون شمالی)

عرفان ناصری^۱, علی شهیدی^۲, محمد رضا فرزانه^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۲- استادیار دانشگاه بیرجند، گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- دانشجوی دکتری مدیریت منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس تهران

چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای به ویژه پس از انقلاب صنعتی منجر به تغییرات محسوسی در سامانه‌های آب و هواسته جو کرده زمین گردید. که از آن به عنوان تغییر اقلیم یاد می‌شود. اثر این پدیده نوظهور بر بخش‌های مختلف چرخه آبی از اهمیت بسزایی در مدیریت منابع ارزشمند آبی برخوردار است. در این تحقیق مدل هیدرولوژیک حوضه بهشت آباد (از توابع حوضه کارون بزرگ) به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در دوره‌های آتی بر این حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت. لذا در این مطالعه، از مدل SWAT-2009 جهت مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده شد تا میزان حجم رواناب حوضه محاسبه گردد. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه‌های آب‌سننجی موجود در حوضه به کمک مدل SUFI-2 برای یک دوره ۱۵ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۳) مورد واسنجی و صحّت‌سننجی قرار گرفت. به منظور ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر رواناب خروجی از حوضه از مدل‌های گردش عمومی جو (HadCM3) تحت سه سناریوی A2، A1B و B1 و برای دوره‌های (2020s)، (2050s) و (2080s) استفاده شد و به کمک مدل مولد اقلیمی لارس (Lars-WG 5.5) مورد ریزمقیاس نمایی واقع شد. سپس نتایج به روش ضرایب تغییر به مدل SWAT معرفی گردید و مدل مجدداً اجرا شد. رواناب ۳۰ ساله به صورت میانگین ماهانه تحت سناریوهای یاد شده به کمک پارامترهای واسنجی شده توسط نرم‌افزار SWAT-CUP محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میانگین دمای سالانه در تمامی دوره‌های تحت کلیه سناریوها با افزایش چشمگیری همراه خواهد بود به استثنای سناریوی B1. و میزان رواناب برای دوره‌های نزدیک و دور نیز دچار افت خواهد شد. بنابراین در بدترین شرایط ممکن حجم رواناب بهشت آباد تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوی A2 دچار کاهشی ۴۵ درصدی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بهشت آباد، تحلیل عدم قطعیت با SUFI-2، تغییر اقلیم، رواناب، مدل SWAT.

Evaluation of Effects of Climate Change on Runoff (Case Study: Beheshtabad Watershed, Northern Karoon)

Erfan Naseri^{1*}, Ali Shahidi², Mohammad Reza Farzaneh³

1-MSc Student of Water Resources Engineering, Birjand University

2-Assistant Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University

3-PhD Student of Water Resources Engineering, Tarbiat Modarres University.

Abstract

Increasing concentrations of greenhouse gases, especially after the Industrial Revolution that they led to significant changes in the earth's climate system; it is called climate change. The effect of this emerging phenomenon on different parts of the water cycle is important in the management of this precious resource. In this research, the study of the hydrological model to assess the effects of climate change on water resources in Beheshtabad watershed in future periods is discussed. In this study, SWAT-2009 model was used to simulate the watershed and calculate the amount of runoff. The simulation results using daily data with existing hydrometric SUFI-2 algorithm for the 15-year period (2013-1998) were used for calibration and validation. In order to assess the effect of climate change on runoff desired output of hydrometric stations,

* Corresponding Author's E-mail (erfan.naseri@gmail.com)

the output of general circulation models, authentic air (HadCM3) and LARS-WG model used under climate scenarios A1B, A2 and A1B for the period (2020s), (2050s) and (2080s) was downscaled by Lars-WG 5.5. The results of climate simulations the SWAT model was introduced change factors, and re-running the model, the runoff in the basin for the next 30 years under the three scenarios above, were obtained SWAT-CUP software calibration parameters to be applied to the average monthly runoff. The results showed that the annual mean temperature has increased in the coming period in all scenarios with the exception of B1 and runoff scenarios for the near and distant future generations get dropped. So that under the most difficult conditions possible amount of runoff from the catchment Beheshtabad 2100 for the A2 scenario, 45 percent decreased.

Key words: Beheshtabad, uncertainty analysis by SUFI-2, climate change, runoff, SWAT model.

الف - مقدمه

فعالیت‌های اخیر بشر منجر به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه افزایش متوسط دمای سطح کره زمین شده است. سناریوهای منتشره توسط هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC)، مؤکد این نکته است که دمای کره زمین نسبت به سال ۱۹۹۰ با افزایشی ۱/۴ تا ۵/۸ درجه‌ای (در مقیاس سلسیوس) تا سال ۲۱۰۰ روبرو خواهد بود (IPCC، ۲۰۰۱). این افزایش دما نه تنها بر متغیرهای اقلیمی اثر خواهد گذاشت، بلکه موجب تغییر اقلیم نیز خواهد شد (IPCC، ۱۹۹۵). با تغییر متغیرهای اقلیمی، شامل دما، بارش و تبخیر و تعرق، رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها نیز دستخوش تغییر خواهد شد، که نتیجتاً موجب تغییر فراوانی وقوع سیلاب و افزایش حجم یا کاهش آن خواهد گردید (خزایی و همکاران، ۲۰۱۱). از این‌رو برای تنظیم برنامه‌ای بلند مدت جهت اتخاذ رویکردی مناسب برای مدیریت منابع آبی کشور جهت سازگاری با پدیده تغییر اقلیم و دستیابی به توسعه پایدار، اندازه‌گیری تأثیرات پدیده مذکور با دقت بالای مکانی و زمانی ضروری به نظر می‌رسد (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعات صورت گرفته راجع به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی سیلاب‌ها، داده‌های اقلیمی تاریخی و سناریوهای اقلیمی آینده نقش ورودی به مدل‌های بارش-رواناب را جهت شبیه‌سازی شرایط فعلی و سناریوهای آتی ایفا می‌کنند. این مطالعات شامل دو گام عمده هستند: آمایش داده‌های اقلیمی آینده و شبیه‌سازی جریان آب (خزایی و همکاران، ۲۰۱۳). رایج‌ترین ابزار جهت شبیه‌سازی پاسخ جو به غلظت گازهای گلخانه‌ای مدل‌های گردش عمومی هوا است. خروجی‌های این مدل‌ها به صورت بزرگ مقیاس بوده، که نیاز به ریزمقیاس نمایی دارند (ولیبی، ۲۰۰۷). به علاوه جهت برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه، داشتن اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجدی برای واسنجی مدل مورد نظر نیز ضروری است. سایر اطلاعات لازم جهت مدل‌سازی عبارتند از: اطلاعات توپوگرافی، نقشه‌های بافت خاک و کاربری اراضی و اطلاعات اقلیمی.

با این حال، تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده حوضه کارون شمالی محدود بوده و به مقدار کافی اطلاعات ندارند. لذا به علت کمبود داده‌های مشاهداتی مدیریت حوضه کاری دشوار جلوه می‌کند. از این‌رو، مدل‌سازی حوضه‌ها نقشی کلیدی در برنامه‌ریزی صحیح و توسعه بهینه منابع آب در منطقه دارد. در سال‌های اخیر مدل‌های ریاضیاتی هیدرولوژیکی حوضه و فرآیندهای انتقال در طیف وسیعی از مسائل زیست محیطی و مدیریت منابع آب به کار گرفته شده‌اند (رستمیان،

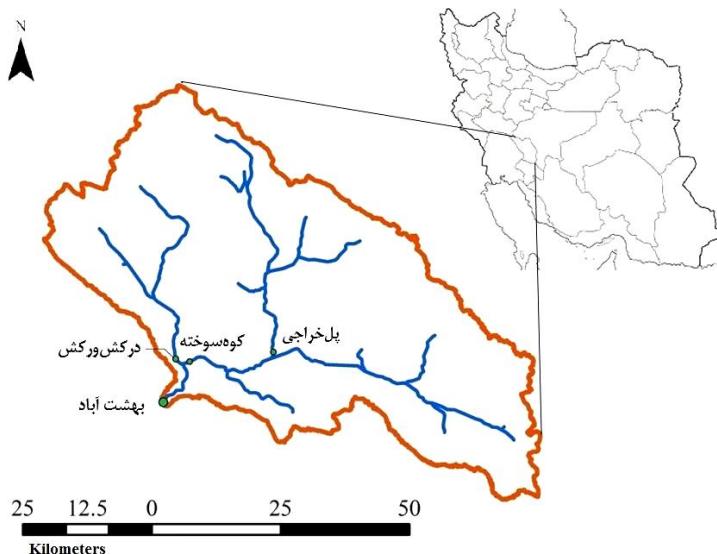
۲۰۰۸). در برخی مطالعات (موزاییک، ۲۰۰۲) و (روی، ۲۰۰۱)، جهت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جریان سیلاب مدل‌های بارش-رواناب لحظه‌ای (تک مشاهده‌ای) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ورودی‌های اقلیمی این گونه مدل‌ها اساساً وقایع بارش است. در اکثر مطالعات پیشین در مورد سیلاب، دلیل اصلی استفاده از این دست مدل‌ها دشواری در گردآوری و آمايش سناریوهای اقلیمی پیوسته و قابل اطمینان است (موزاییک، ۲۰۰۲). همچنین، واسنجی مدل‌های بارش-رواناب پیوسته مشکل بوده و زمان بر است. با این حال، علی‌رغم سهولت کاربرد مدل‌های تک مشاهده‌ای رطوبت اولیه خاک مجھول باقی می‌ماند. داشتن حساسیت بالا سیلاب‌های شبیه‌سازی به شرایط اولیه رطوبت خاک، کاربرد مدل‌های لحظه‌ای را با عدم قطعیت بزرگی مواجه می‌سازد (عباسپور، ۲۰۰۴). در نتیجه جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب، مدل‌های پیوسته گزینه بهتری خواهد بود (پروده‌هام، ۲۰۰۲).

مدل‌های هیدرولوژیکی نظیر SWAT نیازمند پارامترهای متعددی هستند که به راحتی و به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند و تنها می‌توان با واسنجی مقادیر شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهداتی، آنها را تخمین زد (کوسرز و پارت، ۱۹۹۸). منبع اصلی عدم قطعیت در داده‌های ورودی به مدل، ساختار مدل و پارامترهای مدل است (رفزگار و همکاران، ۲۰۰۶). لذا، روش‌های بسیاری جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های مذکور فراهم گردیده است. تکنیک‌های تحلیل عدم قطعیت‌های مختلف برای واسنجی‌های متفاوت دارای سطوح مختلفی از پیچیدگی و ضرورت اطلاعات کامل‌تر می‌باشند، یکی از این تکنیک‌ها روشی است موسوم به 2-SUFI. این روش ابزاری مناسب جهت تحلیل حساسیت واسنجی و صحت‌سنجی چند معیاره است که توانایی تحلیل تعداد پارامترها و داده‌های مشاهداتی بسیاری از ایستگاه‌های اندازه‌گیری گوناگون را به طور همزمان دارد و می‌توان به کمک نرمافزار واسنجی و تحلیل عدم قطعیت SWAT-CUP آن را مورد اجرا و استفاده قرار داد (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۴)، (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۷).

ب - مواد و روش‌ها

حوضه بهشت آباد، با مساحتی معادل ۳۶۸۰ کیلومترمربع یکی از مهم‌ترین زیرحوضه‌های بزرگ کشور است (شکل-۱). این حوضه که در بخش شمال و شمال شرقی حوضه عظیم کارون قرار دارد، در مختصات $۳۲^{\circ}, ۵۰^{\circ}$ تا $۲۵^{\circ}, ۵۱^{\circ}$ شرقی طول جغرافیایی و در عرض شمالی $۳۲^{\circ}, ۵۱^{\circ}$ تا $۳۴^{\circ}, ۵۱^{\circ}$ گسترده است. ارتفاعات این حوضه کوهستانی از ۱۶۶۰ متری در نقطه خروجی تا ۳۶۲۰ متری در بالاترین نقطه کوه سالداران متغیر است. نزدیک به ۷۹٪ مساحت این حوضه در تراز ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری از سطح دریا واقع است. متوسط شیب این حوضه قریب به ۲٪ بوده و میانگین دمای سالانه این محدوده ۱۱ درجه سانتی گراد می‌باشد. متوسط ارتفاع نزولات جوی در حوضه بهشت آباد ۴۷۱ میلی‌متر بوده که ۴۷۱، ۲۴۵، ۸۹، ۵ و ۱۳۲ میلی‌متر آن به ترتیب در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز می‌بارد (رستمیان و همکاران، ۲۰۰۸). این حوضه از یک سو

یکی از منابع اصلی تأمین آب در حوضه کارون شمالی است و از دیگر سو منبع آبی مطمئن جهت اراضی بخشی از نیازهای حوضه‌های خشک مجاور می‌باشد (فخری و همکاران، ۱۴۰۱). از لحاظ کاربری اراضی سطح این حوضه با کوه و صخره (۱۲٪)، مراتع طبیعی (۴۶٪) و اراضی کشاورزی (۴٪) پوشانیده گردیده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه بهشت آباد و ایستگاههای آب‌سنجدی مورد مطالعه

از این اراضی کشاورزی ۵۷٪ به صورت دیم کشت شده و مابقی به صورت آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد و عمدۀ محصول مورد زراعت در منطقه را گندم و یونجه تشکیل می‌دهند (rstemiyan و همکاران، ۱۳۸۷). تأثیر تغییر اقلیم بر این ناحیه دور از انتظار نبوده، و تغییرات احتمالی ایجاد شده در میزان و الگوی بارش دور از ذهن نیست. ایستگاه کنترل داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق جهت رصد صحت داده‌های ایستگاههای موجود در حوضه ایستگاه سینوپتیک شهرکرد بوده که در مختصات $32^{\circ} 30'$ عرض شمالی واقع $51^{\circ} 50'$ طول شرقی است (خزایی و همکاران، ۱۴۰۲).

اطلاعات هواشناسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و میانگین بارش روزانه علاوه بر لایه‌های مختلف رقومی نظری مدل رقومی ارتفاعات، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک منطقه از مرکز مربوطه (سازمان هواشناسی و سازمان نقشه‌برداری کشور) اخذ گردید و پس از ارزیابی صحت اطلاعات و رفع ایرادهای جزئی به مدل قدرتمند SWAT-2009 به منظور شبیه‌سازی بارش به رواناب حوضه معرفی گردید. مدل تبخیر-تعرق این حوضه هارگریوز انتخاب گردید و نرم افزار یاد شده از رابطه گرین-آمپت به منظور شبیه‌سازی نفوذ استفاده نمود. پس از شبیه‌سازی اولیه مدل برای پارامترهای حساس (۲۳ پارامتر جدول-۱) به کمک الگوریتم SUFI-2 از مجموعه SWAT-CUP واسنجی و صحت‌سنجدی گردید. در این مطالعه از یک دوره ۱۵ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۳) به منظور واسنجی و صحت‌سنجدی استفاده شد. لذا از داده‌های مشاهداتی اخذ شده از شرکت مادر تخصصی منابع آب ایران به صورت ماهانه استفاده شد. به طوری که از ۱۰ سال آخر این دوره (۲۰۰۳-۲۰۱۳)

برای واسنجی و از ۵ سال نخست این دوره (۶۰ ماه اولیه از ۱۹۹۸) به منظور صحتسنجی استفاده گردید. و مدل اولیه

پس از چندین بار اجرا و رفع خطاهای سیستماتیک مورد واسنجی و صحتسنجی قرار گرفت.

پس از تشکیل مدل واسنجی شده اولیه، برآورد دادهای ریزمقیاس شده به کمک مدل Lars-WG 5.5 برای دوره‌های مذکور

تحت سناریوهای A2، A1B و A1B به روش ضرایب تغییر (Change Factor) به نرم افزار SWAT-CUP معرفی شد تا تغییرات حاصله از تغییر اقلیم بر رواناب موجود در منطقه مورد ارزیابی واقع گردد.

ج- نتایج و بحث

مدل پس از آمایش لایه‌های اطلاعاتی و فایل داده‌های اولیه اجرا گردید. سپس قبل از واسنجی تعدادی از پارامترهای ورودی به مدل جهت دستیابی به شرایط بهتر با توجه به وضعیت فعلی حوضه تعیین شدند (جدول - ۱). تحلیل حساسیت اولیه منجر به انتخاب پارامترهای جدول - ۱ گردید.

نتایج واسنجی دبی ماهانه در ایستگاه بهشت آباد در شکل‌های ۲ تا ۵ نمایش داده شده‌اند. فاکتور D یا (D -factor) عبارت است از ضخامت باند عدم قطعیت که عموماً می‌بایست کمتر از ۱ باشد تا نتایج بهتری حاصل گردد، هر چه میزان این شاخص بیشتر باشد، به معنی عدم قطعیت در نتایج می‌باشد که با افزایش تعداد تکرار در مرحله شبیه‌سازی از میزان آن کاسته می‌شود. نتایج از کوچک بودن این شاخص برای هر ۴ ایستگاه مورد مطالعه (بهشت‌آباد، درکش ورکش، کوهسوخته و پل خراجی) حکایت دارد. در حالی که فاکتور P یا (P -factor) که عبارت است از درصد مشاهدات موجود در باند عدم قطعیت ۹۵٪ (95PPU) برای ایستگاه درکش ورکش و پل خراجی کوچک است. این موضوع مبنی این موضوع است که عدم قطعیت واقعی بیش از مقادیر نشان داده شده است. که با افزایش مقدار D -factor بهبود می‌یابد. به علاوه به علت کمبود داده‌های ورودی بلندتر، تعداد سال مورد نظر جهت صحتسنجی کوتاه‌تر است. با این حال همان‌طور که در شکل‌های ۶ تا ۹ مشاهده می‌شود، روند متغیر جریان به خوبی برای هر ۴ ایستگاه مورد مطالعه مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است؛ ولی مقدار (P -factor) برای ایستگاه‌های درکش ورکش، بهشت‌آباد و پل خراجی بسیار کوچک بوده، در حالی که مقادیر D -factor برای ایستگاه‌های کوهسوخته و پل خراجی نسبتاً بزرگ است. نتایج به صورت خلاصه در جداول ۲-۳ نمایش داده شده است.

جدول ۱- پارامترهای منتخب جهت واسنجی در مدل SWAT.2009

دامنه نهایی		دامنه اولیه		نماد نرم افزاری (SWAT)	پارامتر مورد مطالعه
Min	Max	Min	Max		
۰/۱۸	۰/۲۱	-۰/۳	۰/۳	<i>r_SOL_BD(1).sol</i>	وزن مخصوص ظاهری خاک
-۰/۳۹	۰/۲۸	-۰/۴	۰/۴	<i>r_CN2.mgt</i>	شماره منحنی برای شرایط رطوبتی نوع ۲
۱۱۷/۴۴	۱۳۴/۳۲	۰	۱۵۰	<i>v_CH_K2.rte</i>	هدایت هیدرولیکی آبراهه اصلی
۰/۱۰	۰/۱۵	۰	۰/۳	<i>CH_N2.rte_v</i>	ضریب مانینگ در آبراهه اصلی
۳/۸۲	۱۵/۶۵	۱۰	۱۵۰	<i>v_SLSUBBSN.hru</i>	متوسط طول شیب در هر HRU (متر)
۰/۰۲	۰/۰۵	۰	۰/۲	<i>v_ESCO.hru</i>	ضریب تصحیح تغیر از خاک
۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱	۱	<i>v_EPCO.hru</i>	ضریب تصحیح جذب گیاهی
۰/۵۴	۰/۷۴	۰	۰/۸	<i>v_OV_N.hru</i>	ضریب مانینگ جریان رو زمینی
۰/۱۰	۰/۱۳	-۰/۲	۰/۲	<i>v_GW_REVAP.gw</i>	ضریب تعیین نفوذ به آبخوان عمیق از آبخوان سطحی با صعود مویینگی از آبخوان سطحی
۰/۴۲	۰/۵۸	۰	۱	<i>v_ALPHA_BF.gw</i>	ضریب عکس العمل جریان آب زیرزمینی
۱۰۴/۸	۱۵۰/۰۷	۰	۴۰۰	<i>v_GW_DELAY.gw</i>	ضریب تاخیر آب زیرزمینی (روز)
۰/۰۷	۰/۱۴	۰	۱	<i>v_RCHRG_DP.gw</i>	درصد تغذیه آبخوان عمیق
۷۳/۱۳	۸۶/۲۶	۰	۱۰۰	<i>v_REVAPMN.gw</i>	حداقل میزان ذخیره آب در آبخوان سطحی برای روی دادن revap (میلیمتر)
۴۸۰/۴	۶۶۲/۴	۰	۱۰۰۰	<i>v SHALLST.gw</i>	عمق اولیه آب در آبخوان آزاد (متر)
-۰/۱۶	-۰/۰۰۲۸	-۰/۳	۰/۲	<i>v_GWQMN.gw</i>	حداقل مقدار ذخیره شده آب در آبخوان که برای رخ دادن جریان پایه لازم است.
۸/۷۴	۹/۵۸	۰	۱۰	<i>v_MSK_CO1.bsn</i>	ضریب واسنجی زمان ذخیره برای جریان نرمال در روش ماسکینگام
۴/۰۵	۴/۸۹	۰	۱۰	<i>v_MSK_CO2.bsn</i>	ضریب واسنجی زمان ذخیره برای جریان کم در روش ماسکینگام
۰/۹۳	۲/۹۵	-۵	۵	<i>v_SFTMP.bsn</i>	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (درجه سانتیگراد)
۳/۵۳	۷/۴۵	-۵	۵	<i>v_SMTMP.bsn</i>	دمای ذوب توده برف (درجه سانتیگراد)
۵	۷/۰۷	۰	۱۰	<i>v_SMFMX.bsn</i>	فاکتور ذوب برف در ۲۱ زوئن (میلیمتر بر درجه سانتیگراد)
۰/۳۹	۱/۳۴	۰	۱۰	<i>v_SMFMN.bsn</i>	فاکتور ذوب برف در ۲۱ دسامبر (میلیمتر بر درجه سانتیگراد)
۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۱	۱	<i>v_TIMP.bsn</i>	فاکتور تاخیر دمای توده برف
۳/۴	۱۲/۰۳	۱	۲۴	<i>v_SURLAG.bsn</i>	ضریب تاخیر رواناب سطحی (روز)

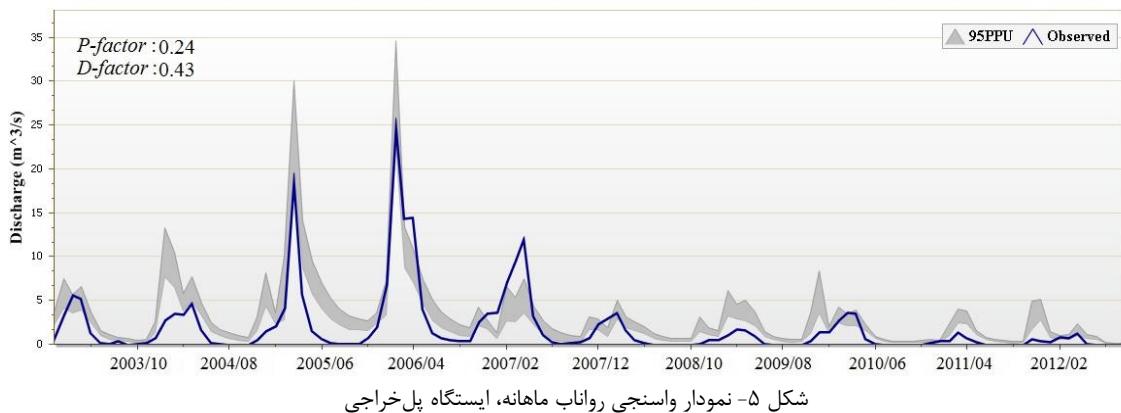
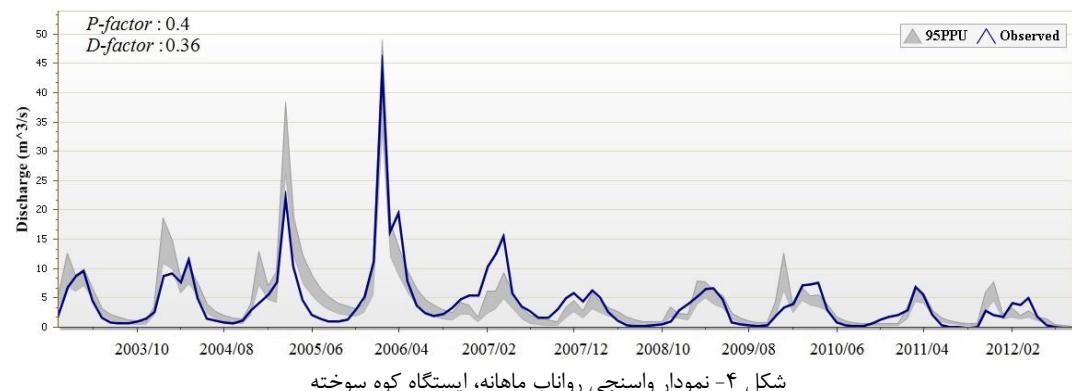
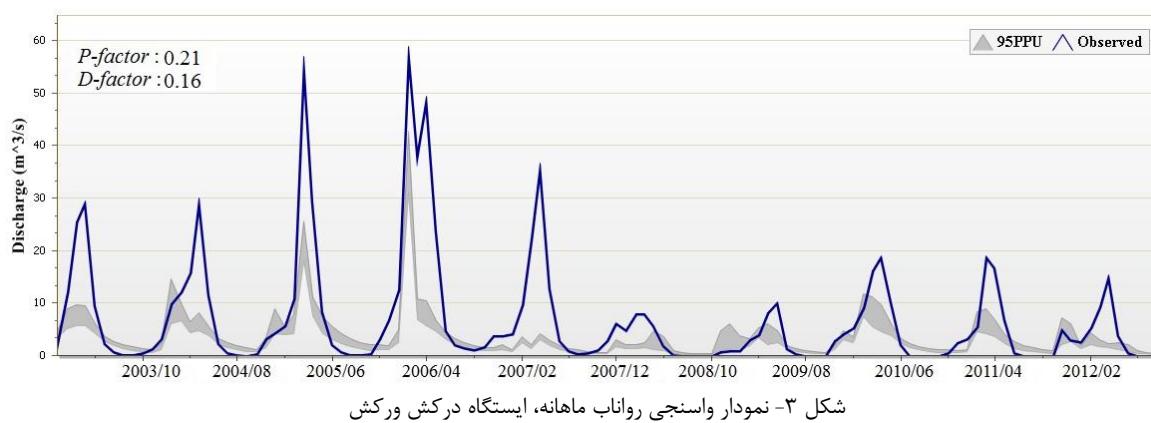
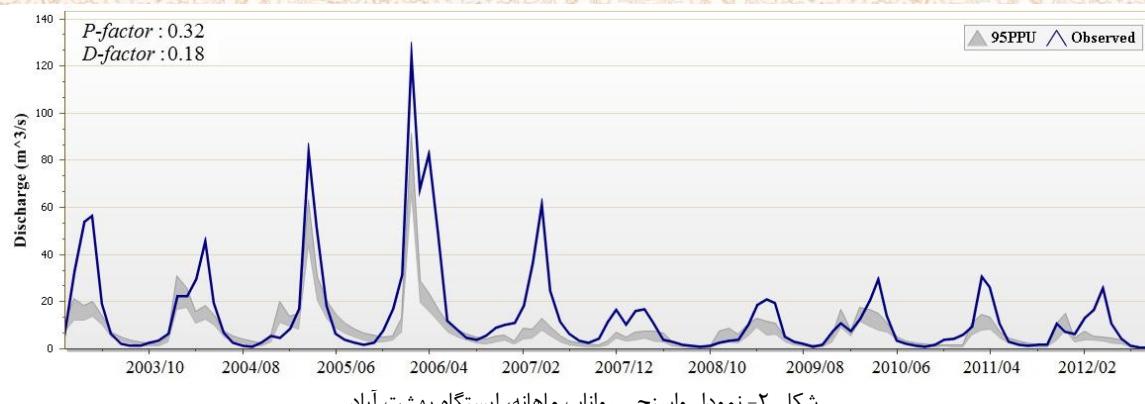
جدول ۲- نتایج واسنجی پارامترهای مورد مطالعه.

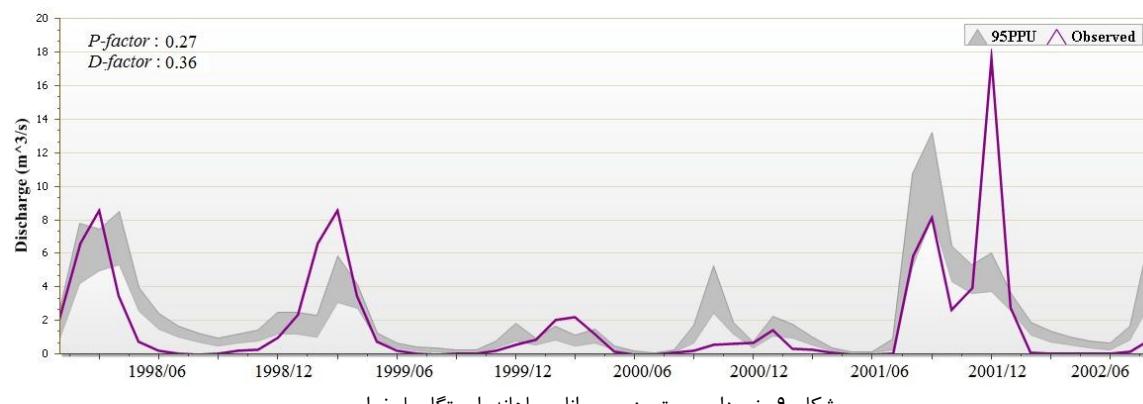
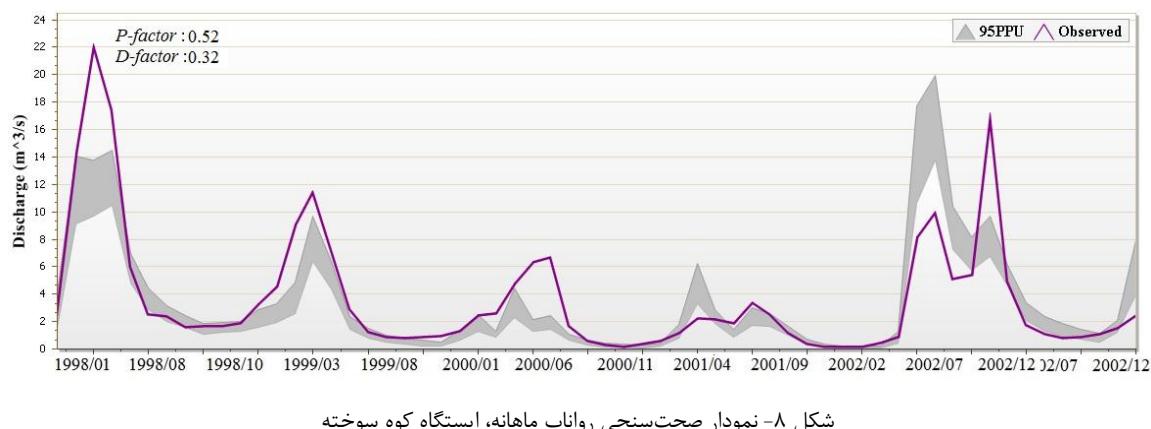
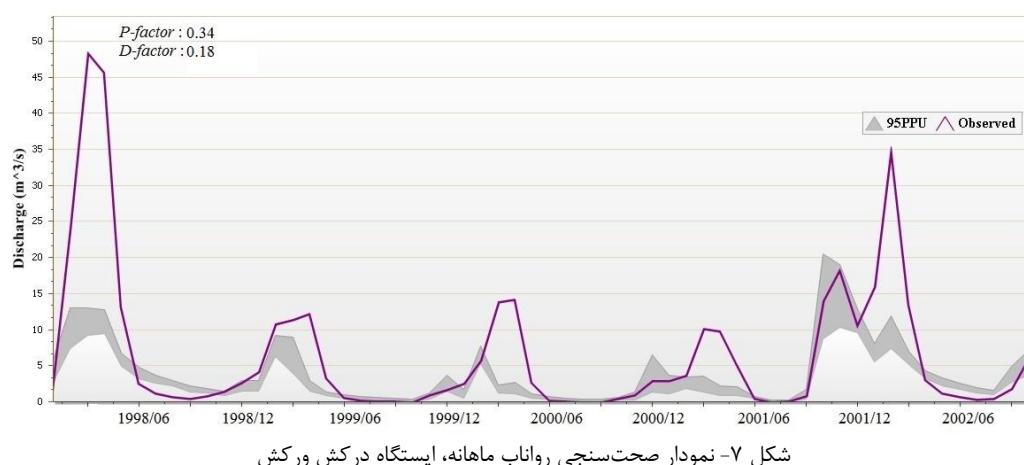
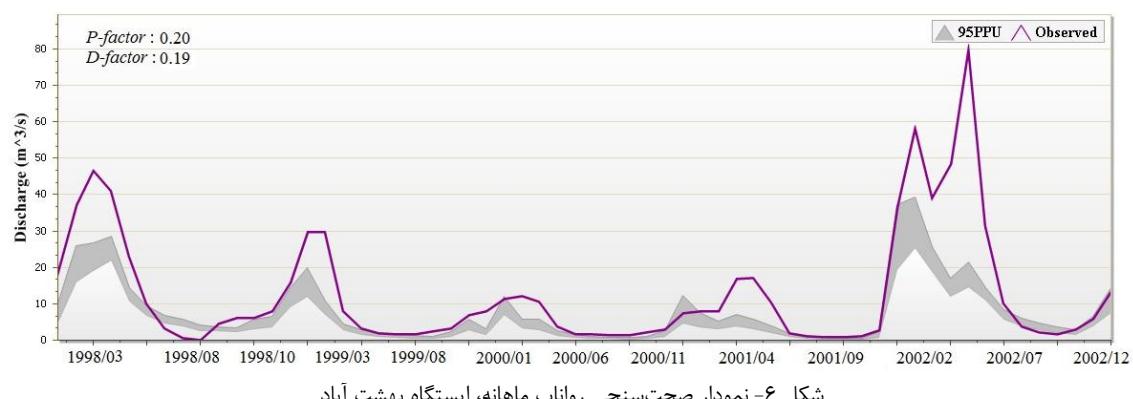
P-Factor	D-Factor	R ² (%)	NS (%)	تعداد داده‌ها	موقعیت جغرافیایی (UTM)		نام ایستگاه
					طول	عرض	
۰/۳۲	۰/۱۸	۷۴	۴۸	۱۱۷	۴۶۵۲۰۲	۳۵۴۳۴۲۲	بهشت آباد
۰/۲۱	۰/۱۶	۶۵	۳۶	۱۱۷	۴۶۶۲۱۱	۳۵۵۱۳۵۱	درکش ورکش
۰/۴۰	۰/۳۶	۸۰	۷۹	۱۱۷	۴۶۹۱۱۳	۳۵۴۹۹۳۱	کوه سوخته
۰/۲۴	۰/۴۳	۷۵	۶۷	۱۱۷	۴۸۶۶۱۰	۳۵۵۰۴۱۴	پل خراجی

جدول ۳- نتایج صحت‌سنگی پارامترهای مورد مطالعه.

P-Factor	D-Factor	R ² (%)	NS (%)	تعداد داده‌ها	موقعیت جغرافیایی (UTM)		نام ایستگاه
					طول	عرض	
۰/۷	۰/۱۹	۷۸	۵۴	۶۰	۴۶۵۲۰۲	۳۵۴۳۴۲۲	بهشت‌آباد
۰/۳۴	۰/۱۸	۵۷	۳۹	۵۸	۴۶۶۲۱۱	۳۵۵۱۳۵۱	درکش ورکش
۰/۵۲	۰/۳۲	۶۷	۶۶	۶۰	۴۶۹۱۱۳	۳۵۴۹۹۳۱	کوه سوخته
۰/۲۷	۰/۳۶	۴۶	۴۳	۵۶	۴۸۶۶۱۰	۳۵۵۰۴۱۴	پل خراجی

با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد مدل شبیه‌ساز هیدرولوژیکی SWAT به خوبی قادر به شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی نیست، در حالی که جریان آب زیرزمینی نقش بسزایی در این قبیل حوضه‌ها ایفا می‌کند. آزمایش دقیق نتایج واسنجی حکایت از خارج از محدوده (95PPU) بودن جریان پایه دارد. لذا، اگر جریان پایه رودخانه بهتر شبیه‌سازی گردد، با افزایش مقادیر P-factor در حین کاهش D-factor می‌توان به نتایج به مراتب بهتری دست یافت. بنابراین پارامترهایی که فرآیند محاسبه آنها پیچیده‌تر است نقشی کلیدی در شکل‌گیری جریان رودخانه دارند. به علاوه در این حوضه تعداد بسیاری چاه و چشممه وجود دارد که جهت آبیاری مزارع در این حوضه به کار گرفته می‌شوند که آمار دقیقی از آنها جهت اجرای عملیات شبیه‌سازی وجود ندارد و این موضوع خود به پیچیدگی تشخیص نتایج شبیه‌سازی دامن می‌زند. ارتفاعات در زیرحوضه‌های درکش ورکش و بهشت‌آباد بین ۲۰۰۰ تا ۳۶۰۰ متر متغیر است، که این رقم از شدت کوهستانی بودن منطقه حکایت دارد. به علاوه پل خراجی بزرگترین زیرحوضه این حوضه بوده که بیش از ۷۰٪ مساحت حوضه بهشت‌آباد را در بالادست دارد که تعداد چشمگیر چشمه‌ها از ویژگی بارز آن است. بنابراین احتمالاً می‌توان این عوامل را در دستیابی به نتایج ضعیف‌تر ایستگاه‌ها درکش ورکش و پل خراجی مؤثر دانست (رستمیان و همکاران ۲۰۰۸). این نتایج با نتایج مطالعه مشابه رستمیان و همکاران (۲۰۰۸) شباهت دارد و در هر دو مطالعه، مدل SWAT-2009 در مدل‌سازی ذوب برف ضعیف عمل کرده است که می‌توان عامل آن را استفاده مدل از رابطه روز- درجه در ذوب برف دانست. به علاوه شبیه‌سازی نقاط اوج سیلان (پیک‌ها) در حوضه‌های پر شیب و کوهستانی نظیر حوضه مورد مطالعه با دشواری همراه بوده و نتایج مطلوبی به دست نمی‌دهد.



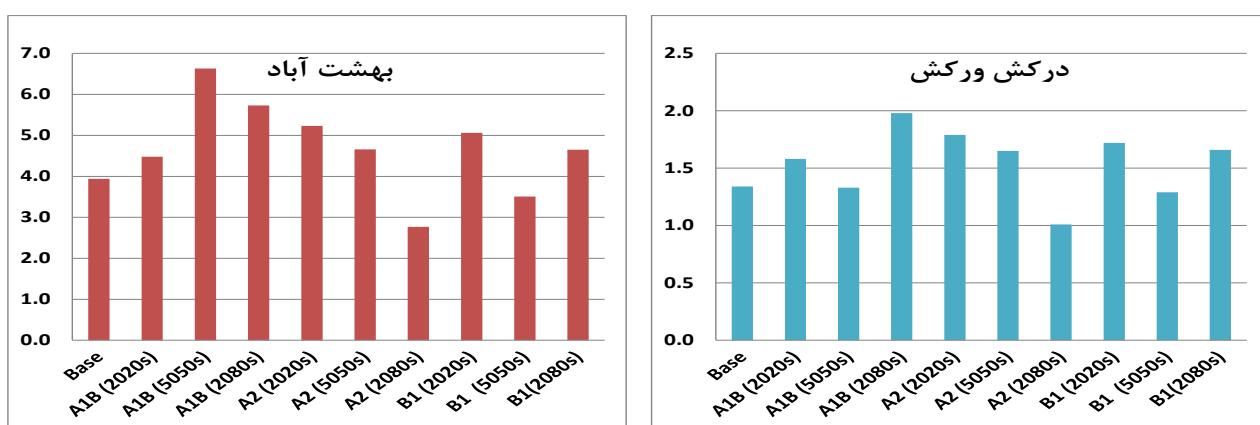


در این ایستگاهها، بیشترین عدم قطعیت طی فرآیند واسنجی و صحت‌سنجدی در شبیه‌سازی به وقایع حدی (سیلاب) تعلق دارد. در نهایت باید توجه داشت که بیشتر سطح حوضه کوهستانی و قریب به ۵۵٪ از نزولات جوی در این حوضه به صورت برف می‌باشد و مدل SWAT جهت تشخیص نوع بارش از میانگین دمای روزانه استفاده می‌کند، لذا به نظر می‌رسد به خوبی نمی‌توان فرآیند ذوب برف را برای چنین حوضه‌های با توپوگرافی شدید واسنجی نمود. علاوه بر آنچه ذکر شد، یکی دیگر از توانایی مدل SWAT شبیه‌سازی فرآیند تغییر اقلیم به کمک ضرایب تغییراست. این مدل به کمک محیط گرافیکی Arc GIS قادر به مدل‌سازی جریان آب سطحی بوده، و اثرات بالقوه تغییرات دوره‌ای را تحت سناریوهای یاد شده نمایش می‌دهد. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب و وقایع حدی شامل عدم قطعیت چشمگیری است و دشواری این مرحله در تهییه سری زمانی از متغیرهای اقلیمی با گام زمانی مناسب است. نمودارهای ۱۰ و ۱۱ اثرات تغییر اقلیم را میانگین سالانه رواناب برای ۴ ایستگاه (درکش ورکش، بهشت‌آباد، پل خراجی و کوه‌سوخته) تحت سناریوهای A1B و B1 و A2 برای دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) نشان می‌دهند. نتایج حاکی از آن است که علی‌رغم افزایش دما طی دوره‌ها آتی، تغییر اقلیم تأثیر چشمگیری بر افزایش جریان در برخی از سناریوهای یاد شده دارد. به طوری که بیشترین افزایش تحت سناریو A1B برای دوره (۲۰۸۰S) در ایستگاه‌های درکش ورکش و کوه سوخته است در حالی که بیشترین افزایش در ایستگاه بهشت‌آباد و کوه سوخته مربوط به همین سناریو برای دوره آتی نزدیک (۲۰۶۹-۲۰۴۰) می‌باشد. به علاوه تحت سناریو A2 برای دور آتی دور (۲۰۹۹-۲۰۷۰) بیشترین کاهش در میانگین دبی خروجی در تمامی ایستگاهها قابل مشاهده است.

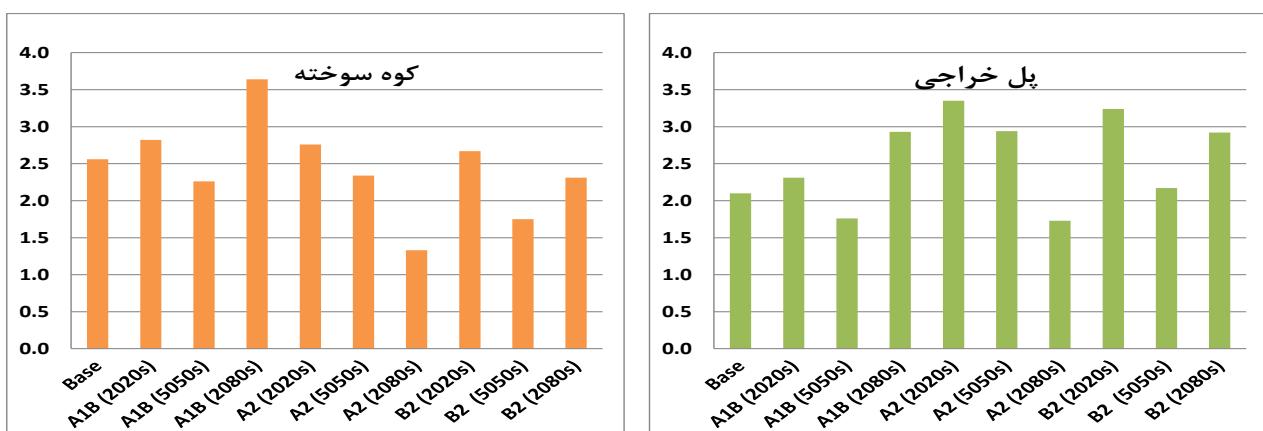
۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و میانگین جریان سالانه تحت تأثیر تغییر اقلیم برای حوضه نسبتاً وسیع بهشت‌آباد (۳۸۶۰ کیلومتر مربع) به کمک مدل SWAT صورت گرفت. از آن‌جا که فرآیند واسنجی به وسیله مدل مذکور دشوار و زمان بر است، نویسنده‌گان در این مطالعه از الگوریتم SUFI-2 جهت واسنجی، صحت‌سنجدی و تحلیل عدم قطعیت مدل یاد شده استفاده نمودند. الگوریتم بهبود متوالی عدم قطعیت (SUFI-2)، مدلی نیمه خودکار با فرآیند مدل‌سازی معکوس است که به طور ترکیبی واسنجی و تحلیل عدم قطعیت می‌نماید. به علاوه مدل لارس (LARS-WG)، تغییرات مختلف آماری متغیرهای اقلیمی را با توجه به سناریوهای موجود تولید و ریزمقیاس نمود. این مدل مولد اقلیمی سری زمانی بلندمدتی از متغیرهای اقلیمی را نیز تولید نمود که می‌تواند عدم قطعیت تنوع طبیعی متغیرها را کاهش دهد. تأثیر تغییر اقلیم بر میزان متوسط جریان سالیانه حوضه بهشت‌آباد تحت سناریوها A1B، A1 و A2 برای دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصله از این تحقیق، تغییر اقلیم اثر چشمگیری

روی رژیم جریان سالانه طی سناریوهای یاد شده خواهد داشت. به عنوان مثال، میزان متوسط جریان سالانه در ایستگاه خروجی حوضه (ایستگاه بهشت آباد) با دوره بازگشت ۳۰ ساله برای دوره ۲۰۵۰S تحت سناریوهای A1B با افزایشی ۶۸ درصدی رو برو است. در حالی که تحت سناریو B1 برای همین دوره کاهش ۱۱ درصدی و طی دوره آتی دور تحت سناریو A2 کاهشی ۳۰ درصدی گزارش می شود. مدل هیدرولوژیکی مورد استفاده در این تحقیق مدل SWAT بود که برای این حوضه کوهستانی اجرا گردید. ضعف اصلی این مدل به دلیل شبیه سازی ضعیف فرآیند ذوب برف است. کمبود داده های مناسب آب سنجی، نقصان در داده های ورودی آب های زیرزمینی و اندرکنش بین آب های سطحی و زیرزمینی از عوامل دیگری است که موجب ضعف در شبیه سازی به کمک این مدل می گردد. تخمین میزان آورد رودخانه و محاسبه میزان فرسایش ایجاد شده جهت ارزیابی موجودیت منابع آبی و مخاطرات پیش رو چه در زمینه مسائل زیست محیطی و چه در مسائل حفاظتی (آب و خاک) از اهمیت بسزایی در سراسر حوضه های آبریز کشور برخوردار است. به نحوی که این موضوع می تواند کمک شایانی به راهبری صحیح و بهینه اقتصادی گردد و با به حداقل رساندن فرسایش و از بین رفتن منابع آبی موجب حفظ منابع طبیعی و سایر عناصر زیست محیطی شود و توسعه پایدار سرزمین را به ارمغان بیاورد.



شکل ۱۰- میانگین رواناب سالانه ($m^3.s^{-1}$) تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایستگاه درکش ورکش و بهشت آباد.



شکل ۱۱- میانگین رواناب سالانه ($m^3.s^{-1}$) تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایستگاه پل خراجی و کوه سوخته.

۵- قدردانی

نویسندها این مقاله از راهنمایی‌های ارزنده جناب آقای مهندس ایمان فاضلی فارسی نهایت سپاس را داشته و از زحمات سرکار خانم دکتر رخساره رستمیان و جناب آقای دکتر محسن پورضا بیلندي در زمینه ایراد مشاوره قدردانی می‌کنند.

و- فهرست منابع

rstemiyan, R., Mousavi, S. F., Hidarpour, M., Afyon, M. and Abbaspour, K., 2007. کاربرد مدل SWAT 2000 در تخمین رواناب و رسوب حوضه بهشت آباد از زیرحوضه‌های کارون شمالی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۶ (ب).

Prudhomme, C., Reynard, N. and Crooks, S., 2002. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?, *Hydrological Processes*, J., 16: 1137–1150.

Kuczera, G. and Parent, E., 1998. Monte Carlo assessment of parameter uncertainty in conceptual catchment models: the Metropolis algorithm" *Journal of Hydrology*, 211(1-4):69-85,

Muzik, I., 2002. A first-order analysis of the climate change effect on flood frequencies in a subalpine watershed by means of a hydrological rainfall-runoff model, *Journal of Hydrology*, 267: 65–73.

IPCC, 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, UK, 1032, Cambridge University Press.

IPCC, 1995. In Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R. H. Moss, Eds. UK, 878.

Refsgaard, J.C., Van der Sluijs, J.P., Brown J. and Van der Keur, P., 2006. A framework for dealing with uncertainty due to model structure error, *Adv Water Resour*. J., 29:1586-1597.

Abbaspour, K.C., Johnson C.A. and Van Genuchten, M.T., 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure, *Vadose Zone*. J., 3: 1340-52.

Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Seyed Ghasemi, S. and Yang, H., 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran, *Water Resources Research*. J., Vol. 45, W10434.

Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist J. and Srinivasan, R., 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, *Journal of Hydrology*, 333: 413-430.

Roy, L., Leconte, R., Brissette, F.P. and Marche, C., 2001. The impact of climate change on seasonal floods of a southern Quebec River Basin," *Hydrological Processes*. J., 15: 3167–3179.

Fakhry, M., Farzaneh, M. R., Eslamian, S. and Khordadi, M. J., 2012. Confidence interval assessment to estimate dries and wet spells under climate change in Shahrekord station, Iran, *Journal of Hydrologic Engineering*,

Khazaie, M. R., Zahabiyoun, B. and Saghafian, B., 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model," *International Journal of Climatology*.

Rostamian, R., Jaleh, A., Afuni, M., Mousavi, S. F., Heidarpour, M., Jalilian, A. and Abbaspour, K. C., 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran, *Hydrological Sciences Journal*.

Wilby, R. L. and Christian, W.D., 2007. SDSM 4.1-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *User Manual*.