

Hydrological simulation of recycling Bazoft basin in the presence of regional groundwater

A. Golabi^۱, H. Alizadeh^{۲*}

Abstract

Groundwater and surface water processes depend on hydrological assessments. There are underground waters that enter the catchment area from outside the catchment area, which do not necessarily flow within the catchment area, or they leave the catchment area and enter the adjacent catchment area. In order to achieve the goal of this research, which is to include the effect of this event on hydrological simulation, it is necessary to use the Soil and Water Assessment (SWAT) software, a hydrological model was built and two modeling scenarios were compared. In this project, by developing a comprehensive hydrological model based on the SWAT model, Base flow simulation for four hydrometric stations and surface runoff was started in the Bazfat basin in the period from ۲۰۰۵ to ۲۰۱۳, and reanalysis data and ground observations were also used in this study. In order to calibrate the model, SWAT-CUP software and SUF1۲ algorithm have been used. Also, in this research, time series, separation of base flow, sensitivity analysis and calibration of the results were investigated. The results show that the hydrological simulation of the basin under the conditions of the first scenario, in which the SWAT model simulated both base flow and direct runoff, compared to the second scenario, which used the Point Source feature to separate the base flow from direct runoff based on the data of hydrometric stations were introduced and used as input data to the SWAT model. In general, there is no significant difference, the reason for this is the effect of the karst basin of the Kohrang River in the vicinity of the Bazoft catchment basin. The obtained results provided a better understanding of the separation function of base flow as Point Source under the second scenario in the karst basin.

Keywords: Bazoft Basin, Karst, Baseflow Separation, SWAT.

Received: October ۸, ۲۰۲۳

Accepted: November ۲۱, ۲۰۲۳

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز بازفت در حضور آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای

عاطفه گلایی^۱، حسین علیزاده^{۲*}

چکیده

امروزه شبیه‌سازی رواناب آب‌های سطحی و رودخانه‌ها در زمینه‌های مختلف از جمله در بخش تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت و غیره کاربرد دارد. آب‌های زیرزمینی‌ای وجود دارند که از خارج حوضه وارد حوضه آبریز می‌شوند و یا از حوضه آبریز خارج شده و به حوضه آبریز مجاور وارد می‌شوند. هدف این مطالعه لحاظ کردن اثر این پدیده منطقه‌ای بر روی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است. به همین جهت با استفاده از نرم افزار SWAT، مدل هیدرولوژیکی ساخته شد و دو سناریو مدل‌سازی مورد مقایسه قرار گرفت. سناریو اول مدل SWAT، جریان پایه و رواناب مستقیم را توأمان شبیه سازی کرد. سناریو دوم با استفاده از قابلیت Point Source، تفکیک جریان پایه را از رواناب مستقیم براساس داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری به عنوان داده‌های ورودی به مدل SWAT استفاده کرد. این پروژه در حوضه بازفت طی دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ صورت گرفت. همچنین از داده‌های بازتحلیلی و مشاهدات زمینی در این مطالعه استفاده شده است. جهت واسنجی مدل از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUF1۲ استفاده شده است. همچنین در این پژوهش سری زمانی، تفکیک جریان پایه، تحلیل حساسیت و کالیبراسون نتایج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر این است که شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه تحت شرایط سناریو اول در مقایسه با سناریو دوم به صورت کلی تفاوت چشمگیری ندارد. اثر حوضه کارستی رودخانه کوه‌رنگ در مجاورت حوضه آبریز بازفت دلیل این امر است. نتایجی که در حوضه کارستی بدست آمد درک بهتری از عملکرد تفکیک جریان پایه به عنوان Point Source، تحت سناریو دوم مهیا کرده است.

کلمات کلیدی: حوضه بازفت، کارست، تفکیک جریان پایه، SWAT.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۷/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۸/۳۰

۱- MSc., Civil Engineering Department, Ale-Taha Institute of Higher Education, Tehran, Iran.

۲- Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Email: alizadeh@iust.ac.ir

* Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. ایمیل: alizadeh@iust.ac.ir

* نویسنده مسئول

مقدمه

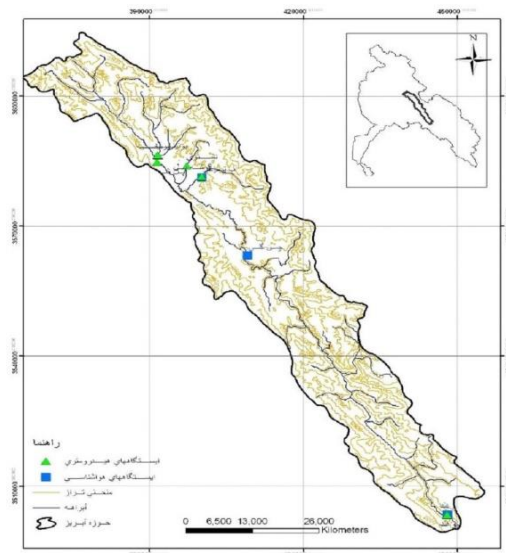
جمع‌آوری شده است. مدل SWAT اصلاح شده
تواسته تنوع زمانی جریان کارست و رواناب سطحی را
به‌دست آورد. نتایج در سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ در
مقایسه با سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ بیانگر این است
که شبیه‌سازی برای مجموعه‌ای از سناریوهای تغییرات
آب و هوایی کاهش ۱۷ درصدی مقدار بارش، کاهش
۸ درصدی ET و کاهش ۲۲ درصدی جریان را در بر
داشته است (N.P. Nikolaidis و همکاران، ۲۰۱۲).
محققین در یک حوضه کارستی در حوضه دریای
مدیترانه چشمه‌ها را به عنوان منبع نقطه‌ای خروج آب
در نظر گرفتند. از طرفی با اصلاح کردن کد SWAT
به جهت ایجاد ارتباط میان زیرحوضه‌ها به صورت
مستقیم و با دخالت دادن سناریوهای تغییر اقلیم، یک
مدل برای شبیه‌سازی کیفیت آب در کنار مدل سازی
کیفی منطقه کارستی گزارش کردند. نتایج نشان
دهنده این است که ۲۸۴ تن نیترات در سال به آب و
خاک منطقه ساحلی اضافه شده است. همچنین
سناریو اقلیمی کاهش ۱۷ درصدی بارش، کاهش
۸ درصدی تبخیر تعرق حقیقی و کاهش ۲۲ درصدی
رواناب در سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ در مقایسه با دوره
۲۰۱۰ تا ۲۰۲۹ در بر داشته است (Nikolaidis و
همکاران، ۲۰۱۳). آنا مالاگو و همکاران پژوهشی جهت
تعیین مقدار تعادل آب هیدرولوژیکی از نظر زمانی و
مکانی برای ارزیابی پایدار مصرف واقعی آب انجام
دادند. هدف این پژوهش توسعه یک روش با استفاده
از مدل SWAT و یک مدل جریان کارستی است. نتایج
نشان داد که استفاده از این مدل دانش ما را در
خصوص در دسترس بودن و توزیع منابع آب تحت

منابع آب با منشاء کارستی یکی از مهم‌ترین منابع آبی
کشور محسوب می‌شود. امروزه بیش از ۲۵ درصد از
جمعیت جهان آب مورد نیاز خود را از منابع کارستی
تامین می‌کنند و یا روی مناطق کارستی زندگی
می‌کنند. پدیده کارستی در قسمت‌های مختلف کشور
شرایط مناسبی را در شکل‌گیری مخازن آب زیرزمینی
فراهم نموده است که در تامین شرب شهرها نقش
مهمی دارد. در این مطالعه به توضیح مبانی نظری که
شامل نحوه مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و پدیده‌ی
کارست است پرداخته شده است. همچنین به
رویکردهای موجود در شبیه‌سازی حوضه آبریز
کارستی اشاره شده است. شبیه‌سازی و پیش‌بینی
رواناب آب‌های سطحی و رودخانه‌ها در زمینه‌های
مختلف دارای کاربرد است. بنابراین جهت پیش‌بینی
رواناب‌ها غالباً از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده
می‌گردد. یکی از ابزارهای محبوب جهت ارزیابی و
مدیریت کارآمد و موثر منابع آب در مقیاس حوضه
آبریز مدل‌های هیدرولوژیکی است (Srinivasan و
همکاران، ۲۰۱۰؛ Molina-Navarro و همکاران،
۲۰۱۷). در کرت، یونان به منظور ارزیابی تاثیرات
مدیریت کاربری اراضی و تغییرات آب و هوایی و
همچنین به جهت شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژیکی و
شیمیایی سیستم‌های کارستی، یک حوضه آبریز
مدیترانه‌ای تحت مدیریت برای مدل SWAT اصلاح
گردید. این مدل اصلاح شده با استفاده از داده‌های
نظارت بر فرکانس بالا و سری‌های طولانی مدت جریان

این مطالعه در حوضه آبریز بازفت که یکی از زیر حوضه‌های آبریز کارون بزرگ است انجام شده است. طول رودخانه بازفت ۱۶۰ کیلومتر است. این رودخانه از شاخه‌های مهم رودخانه کارون که از دامنه‌های کوه‌های بلند تورک و منار واقع در ۸۰ کیلومتری جنوب غربی فریدن سرچشمه گرفته است (شکل ۱). این حوضه شامل چهار ایستگاه هیدرومتری (جدول ۱) است که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی حوضه بازفت

کد	ارتفاع	مساحت	طول		عرض جغرافیایی
			جغرافیایی		
۲۱-۰۶۰	۱۶۷۶	۵۴۵	۴۹-۵۰-۴۶	۳۲-۳۳-۳۶	
۲۱-۴۳۵	۱۷۱۶	۷۷	۴۹-۵۶-۲۴	۳۲-۲۱-۵۴	
۲۱-۴۷۶	۱۴۷۲	۱۱۳۰	۵۰-۰۴-۳۲	۱۹-۳۲-۱۰	
۲۱-۲۳۳	۹۱۳	۲۱۶۳	۵۰-۲۷-۱۰	۳۱-۳۹-۴۹	

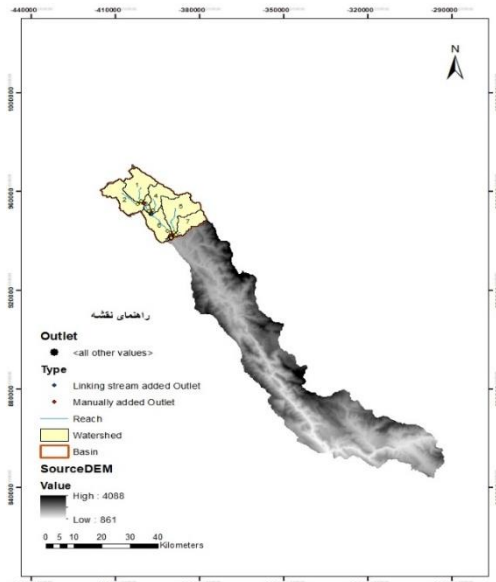


شکل ۱- حوضه آبریز بازفت

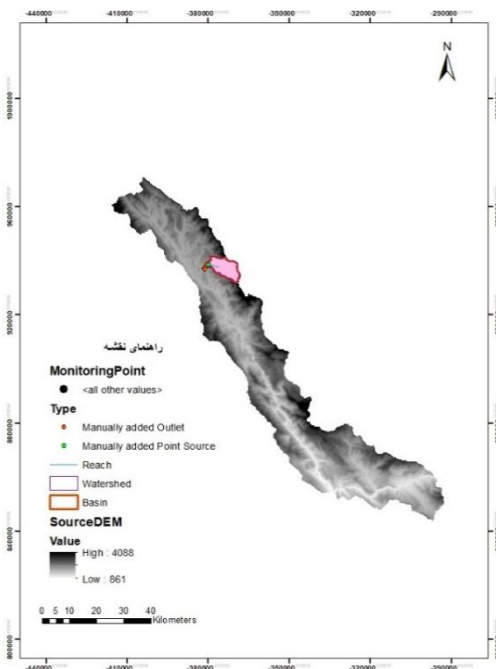
شرایط متفاوت هیدرولوژیکی افزایش می‌دهد. این مدل که به مدیریت و برنامه ریزی بهتر منابع آب در زمان کمبود نیاز داشت، توانست هیدرولوژی مناطق کارستی را محاسبه کند (Anna Malagò و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیقی دیگر مصطفی امین و همکاران برای تهیه یک برنامه مدیریت آبخیزداری کارآمد به سبب بهبود کیفیت آب از یک مدل حوزه آبخیز اکوهیدرولوژی استفاده کردند. همچنین دو نسخه از ابزار ارزیابی خاک و آب Regular-SWAT و Topo-SWAT را در آمریکا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بیان می‌کند که Topo-SWAT می‌تواند ابزار مهمی در مطالعات آینده تغییر مدیریت زمین‌های کشاورزی در مناطق کارستی باشد (Mostafa Amin و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج نشان داد که در بسیاری از موارد مورد بررسی محققین توانستند عملیات موثر بر مناطق کارستیک در راستای مدیریت رواناب آب سطحی و زیرزمینی را با اصلاح مدل SWAT، جمع آوری داده‌های پایگاه‌های اقلیمی و تعریف سناریوهای مختلف انجام دهند. از سویی طی بررسی‌های انجام شده مشخص شد که مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های کارستی می‌تواند دقت بیشتری را در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی داشته باشد. این در صورتی است که مقادیر نفوذ افزایش یابد و یا در مدل SWAT با طراحی و قرار دادن فروچاله و اصلاح کدهای آن همراه باشد.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز بازفت در حضور آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای عاطفه گلابی، حسین علیزاده



شکل ۲- زیرحوضه‌ها و آبراهه ایستگاه شهید خدري



شکل ۳- زیرحوضه‌ها و آبراهه ایستگاه گوشه پل باران

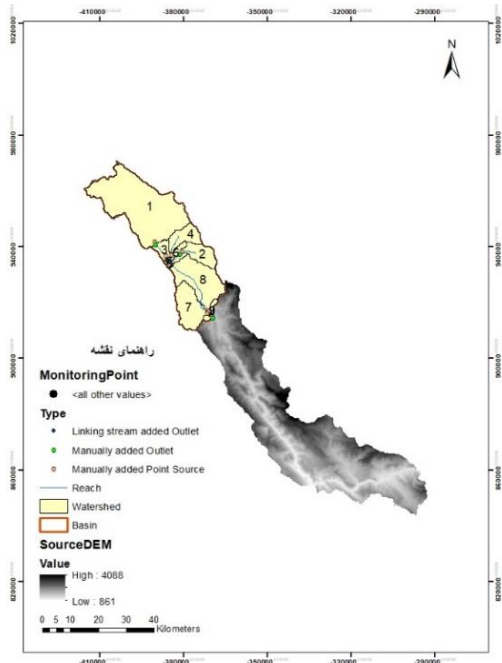
در این پژوهش تلاش شده است با جداسازی جریان پایه، ارزیابی محدودیت‌های مدل SWAT در شبیه‌سازی این مدل حوضه، مقدار رواناب را بررسی کند. در ادامه نحوه پیکربندی مدل نیمه توزیعی SWAT و همچنین با استفاده از فیلتر جریان پایه، رویکردهای شبیه‌سازی و نتایج واسنجی و اعتبارسنجی حوضه‌های آبریز کارستی مورد مطالعه واقع شده است.

در پیکربندی مدل از نقشه DEM اصلاح شده با دقت ۹۰ متری به جهت استخراج آبراهه و زیرحوضه‌ها استفاده شده است. برای دقت بیشتر برای چهار ایستگاه هیدرومتری (شکل‌های ۲ تا ۵)، چهار مدل شبیه‌سازی شده است. مدل SWAT که یک مدل مقیاس حوضه رودخانه است، یک حوضه را به چندین زیرحوضه کوچک‌تر معروف به "واحدهای پاسخ هیدرولوژیک" (HRU) تقسیم می‌کند. هر یک از آن‌ها از نظر شیب، کاربری اراضی و جنس خاک منحصر به فرد است. محاسبات در HRU انجام شده و تا خروجی زیرحوضه جمع و هدایت آن از طریق سیستم جریان صورت گرفته است. بعد از انجام تنظیمات برای شبیه‌سازی ایستگاه‌های شهید خدري، گوشه پل باران، مورز و مرغک به ترتیب ۸، ۱، ۸، ۲۵، زیرحوضه مشخص شده است.

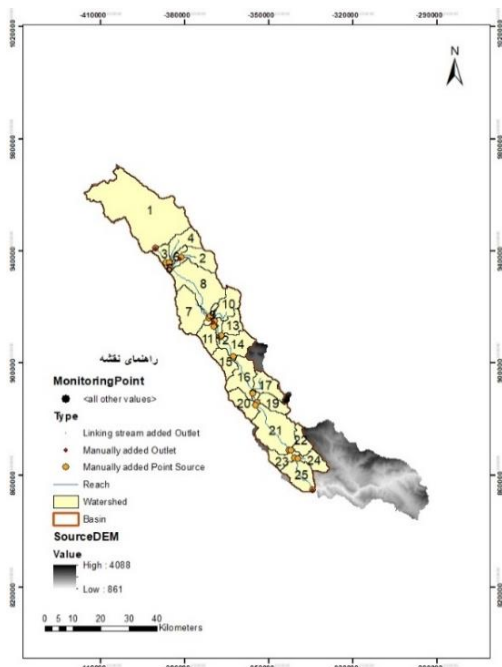
شکل ۵- شبکه آبراهه ایستگاه مرغک

با توجه به شبیه‌سازی چهار ایستگاه و خلاهای آماری که برای هر ایستگاه در نظر گرفته شده است می‌توان برای هر یک از ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی و بازه زمانی، داده‌های NCEP CFSR را به صورت روزانه دریافت و در قسمت دما و بارش قرار داد. زمانی، داده‌های NCEP CFSR را به صورت روزانه دریافت و در قسمت دما و بارش قرار داد.

درانتخاب روش تبخیر و تعرق روش هارگریوز با توجه به اطلاعات ورودی اقلیمی انتخاب شد. ایستگاه هیدرومتری شهید خدروی در اوایل رودخانه بازفت واقع شده است. از سویی نتایج شبیه‌سازی‌های اولیه ضرورت استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی خارج از حوضه را نشان داده است. اما از ایستگاه‌های CSFR برای زیر حوضه‌های این بخش بر اساس روش نزدیکترین همسایگی مدل SWAT از یک ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. جهت مدل‌سازی اثرات کارست روش تفکیک جریان پایه مورد استفاده واقع شده است در رابطه با الزام قید کردن تاثیر بکارگیری اثر کارست و داده ایستگاه‌های باران‌سنجی مختلف بر اساس تفکیک جریان پایه چند سناریوی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مشخص شده است. در سناریوها به تفکیک جریان پایه و برداشت‌های آب توجه نشده است. همچنین برای واسنجی طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ و برای اعتبارسنجی طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ با لحاظ مشاهدات آبدهی از یک ایستگاه CFSR استفاده شده است. کد ایستگاه‌ها به ترتیب از



شکل ۴- شبکه آبراهه ایستگاه مورز



در شاخص PBIAS سناریوهای اول و سوم مثبت هستند که سناریو اول بیشتر است. در مقایسه با مشاهدات نشانه تخمین‌ها به ترتیب بالادست و پایین دست است. در سناریو دوم، قدر مطلق این شاخص نسبت به سناریوهای دیگر کمتر و مرغوب‌تر واقع شده است. در شاخص p-factor مقدار سناریو سوم از دو سناریو دیگر بیشتر است. نتایج بیانگر این است که در بازه عدم قطعیت شبیه‌سازی مقدار زیادی از مشاهدات تحت سناریو سوم واقع شده است. همین‌طور در شاخص‌های KGE، NSE و BR^2 به ازای بهترین شبیه‌سازی تحت سناریو دوم در مقایسه با سناریوهای اول و سوم تفاوت زیادی ندارد.

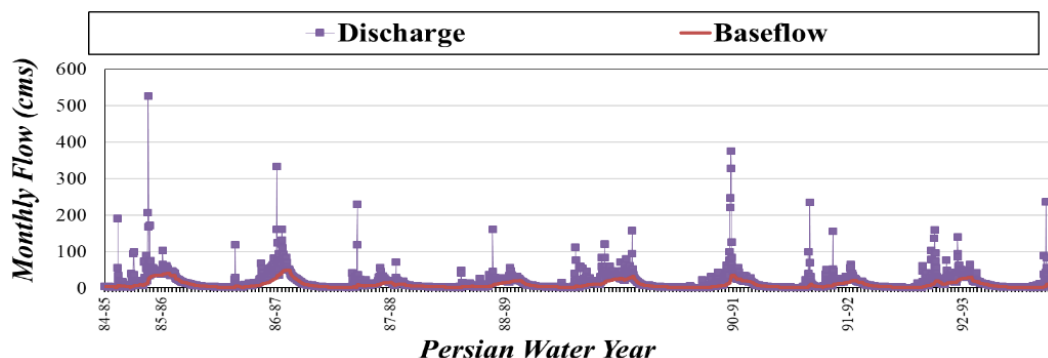
سناریو اول تا سوم شامل $p=323497$ ، $p=323500$ و $p=326497$ است.

شاخص‌های ارائه شده و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی در قالب سری‌های زمانی مشاهدات، بهترین شبیه‌سازی و نیز باند $95PPU$ در جدول ۲ و شکل ۶ تا ۷ نشان داده شده است (به عنوان نمونه تنها نتایج ایستگاه شهید خدري گزارش شده است).

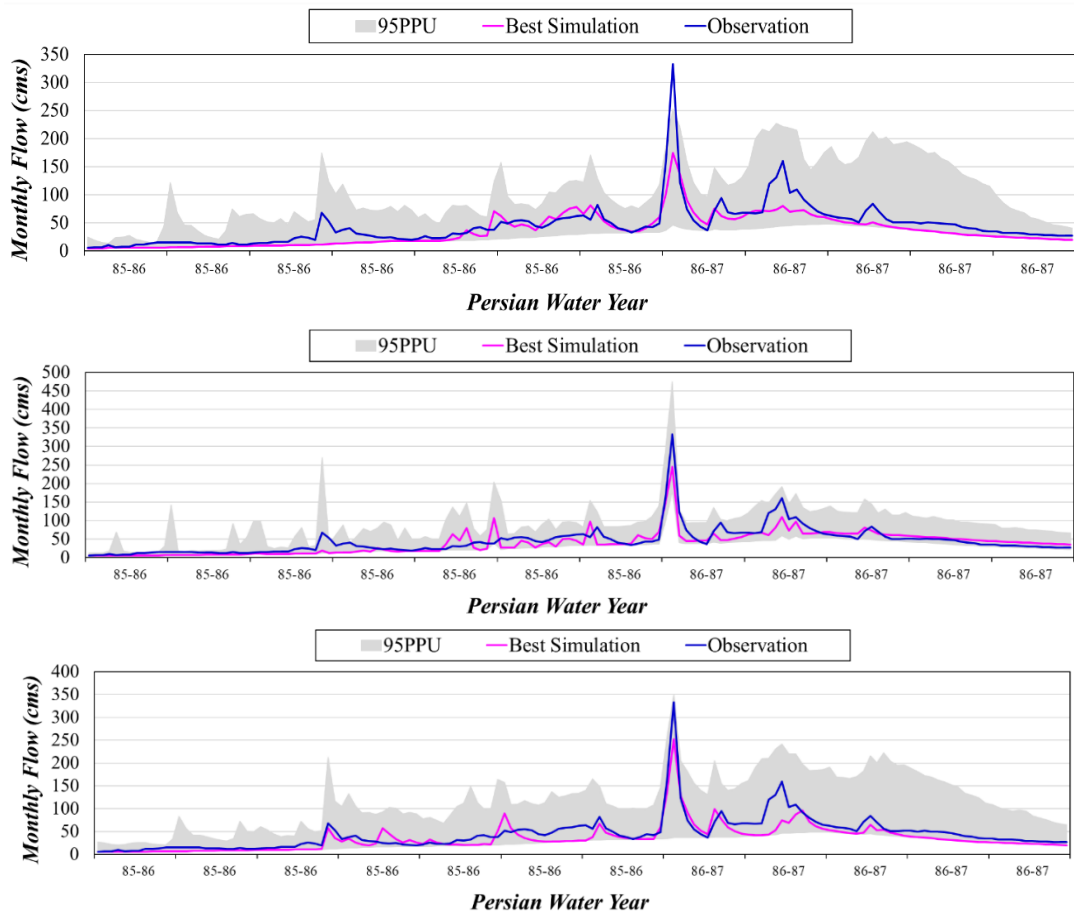
در مقایسه میان میانگین و انحراف معیار سری‌های زمانی بهترین شبیه‌سازی که برابر $1/2$ و $2/7$ متر مکعب بر ثانیه و میانگین و انحراف معیار سری‌های زمانی مشاهدات که برابر $1/5$ و $2/1$ مترمکعب بر ثانیه است، در سناریو دوم شامل تخمین بسیار پایین دست است. اما سناریوهای اول و سوم برعکس سناریو دوم تخمین بسیار بالادست حاصل شده است.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های واسنجی به ازای سناریوها و تکرارهای مختلف مربوط به بخش شهید خدري-بازفت

سناریو	۱	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲
مرحله مدلسازی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	اعتبارسنجی
تکرار الگوریتم	۱	۱	۱	۲	۲	۳	۴	۵
تعداد شبیه سازی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
p-factor	۰.۸۴	۰.۹۰	۰.۹۸	۰.۸۸	۰.۶۸	۰.۶۱	۰.۷۸	۰.۸۳
r-factor	۲.۱۱	۰.۷۴	۱.۶۴	۰.۶۸	۰.۶۱	۰.۶۸	۰.۴۸	۰.۶۵
R ^۲	۰.۷۳	۰.۷۱	۰.۶۵	۰.۷۱	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۴۸
NS	۰.۷۰	۰.۶۹	۰.۶۲	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۴۷
bR ^۲	۰.۴۷	۰.۴۷	۰.۴۲	۰.۴۹	۰.۵۰	۰.۴۹	۰.۴۹	۰.۲۵
MSE	۱۴۰	۱۴۰	۱۷۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۳۷۰
SSQR	۴۷	۳۱	۴۴	۲۷	۲۰	۲۳	۱۷	۵۸
PBIAS	۲۰.۳۰	۱۸.۰۰	۲۶.۱۰	۱۷.۶۰	۱۰.۳۰	۱۰.۶۰	۷.۱۰	۶.۷۰
KGE	۰.۶۵	۰.۶۸	۰.۶۲	۰.۷۰	۰.۷۶	۰.۷۵	۰.۷۸	۰.۶۰
RSR	۰.۵۵	۰.۵۶	۰.۶۲	۰.۵۵	۰.۵۵	۰.۵۵	۰.۵۵	۰.۷۳
MNS	۰.۶۳	۰.۶۵	۰.۶۱	۰.۶۵	۰.۶۵	۰.۶۵	۰.۶۳	۰.۴۹
VOL_ FR	۱.۲۶	۱.۲۲	۱.۳۵	۱.۲۱	۱.۱۲	۱.۱۲	۱.۰۸	۱.۰۷
Mean_ sim	۱۱.۸۷	۱۲.۲۱	۱۱.۰۱	۱۲.۲۷	۱۳.۳۵	۱۳.۳۲	۱۳.۸۴	۱۴.۱۱
Mean_ obs	-۱۴.۸۹	-۱۴.۸۹	-۱۴.۸۹	-۱۴.۸۹	-۱۴.۸۹	-۱۴.۸۹	-۱۴.۸۹	-۱۵.۱۴
Std Dev_ sim	۱۶.۰۸	۱۶.۹۱	۱۷.۱۵	۱۷.۳۴	۱۸.۱۵	۱۷.۸۸	۱۸.۵۹	۲۰.۰۳
StdDev_obs	۲۱.۲۹	۲۱.۲۹	۲۱.۲۹	۲۱.۲۹	۲۱.۲۹	۲۱.۲۹	۲۱.۲۹	۲۶.۳۳



شکل ۶- تفکیک جریان پایه در ایستگاه شهید خدری-رودخانه بازفت مبتنی بر سری زمانی آبدهی



شکل ۷- نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بخش شهید خدای؛ سناریوی ۱ (بالا)؛ سناریوی ۲ (میان)؛ سناریوی ۳ (پایین)

همچنین در شاخص $SSQR$ و MSE سناریو دوم خطای مطلق بیشتری نسبت به دو سناریو دیگر دارد. با در نظر گرفتن تمام داده می‌توان گفت که سناریو دوم بهترین سناریو شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است. نتایج تحلیل حساسیت به تفکیک واسنجی که از روش $SUF^{۱۲}$ استفاده شده در جدول ۳ مشخص شده است.

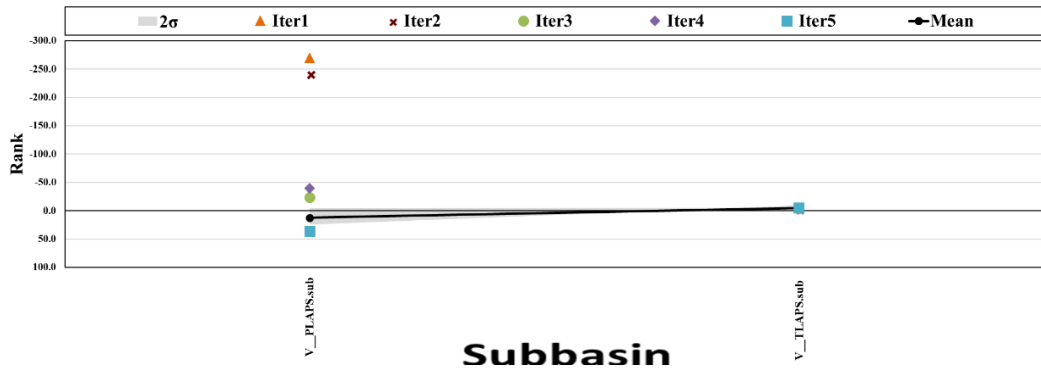
جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت

تکرار اول						
رتبه	نام پارامتر	t state	p value	حداقل	حداکثر	بهبه
۱	V_PLAPS.sub	-12.64	0.00	-1,000.0	1,000.0	-270.0
۲	V_TLAPS.sub	-4.96	0.00	-10.0	10.0	-3.9
تکرار دوم						
رتبه	نام پارامتر	t state	p value	حداقل	حداکثر	بهبه
۱	V_PLAPS.sub	-12.54	0.00	-900.0	900.0	-243.0
۲	V_TLAPS.sub	-6.06	0.00	-9.00	9.00	-3.51
تکرار سوم						
رتبه	نام پارامتر	t state	p value	حداقل	حداکثر	بهبه
۱	V_PLAPS.sub	-12.39	0.00	-800.0	800.0	24.0
۲	V_TLAPS.sub	-7.41	0.00	-8.0	8.0	-4.4
تکرار چهارم						
رتبه	نام پارامتر	t state	p value	حداقل	حداکثر	بهبه
۱	V_PLAPS.sub	-8.26	0.00	-800.0	500.0	-39.0
۲	V_TLAPS.sub	-11.27	0.00	-8.00	5.00	-4.95
تکرار پنجم						
رتبه	نام پارامتر	t state	p value	حداقل	حداکثر	بهبه
۱	V_PLAPS.sub	-10.50	0.02	-900.00	700.00	36.00
۲	V_TLAPS.sub	-7.29	0.00	-9	9	-5
تخمین نهایی						
رتبه	حداقل	حداکثر	بهبه			
۱	-900.0	700.0	-588.0			
۲	-9	8	-8			

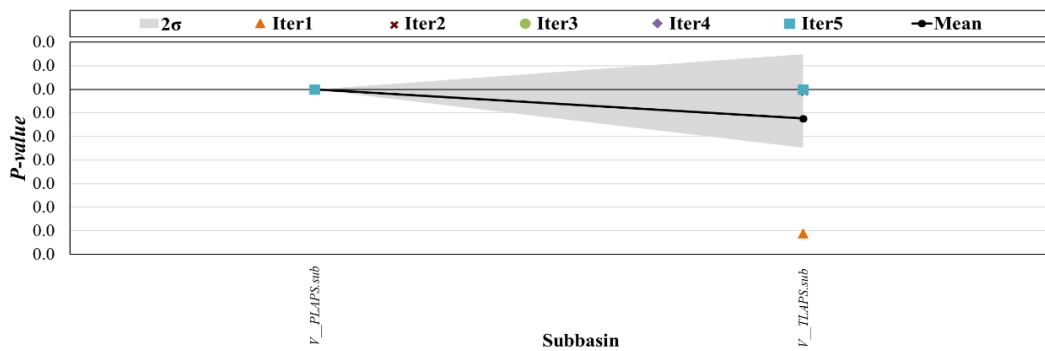
قرار گرفته است اما در مرحله ۴ رتبه آن با یک صعود ناگهانی به ۲ تغییر یافته است. پارامتر V_PLAPS.sub در مراحل ۱ تا ۳ در رتبه ۲ قرار گرفته است اما در مرحله ۴ رتبه آن با صعود به ۱ افزایش یافته است. همان طور که از جدول ۳ مشخص است بهترین تخمین پارامترها برای بخش بازفت شهید خدزی به صورت سناریوی ۲، تکرار ۴ معرفی شده است، نتایج شبیه‌سازی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

ایستگاه هیدرومتری گوشه پل باران نیز در اوایل رودخانه بازفت واقع شده است. از ایستگاه‌های CSFR برای زیر حوضه های این بخش، مبتنی بر روش نزدیکترین همسایگی مدل SWAT استفاده شده است. در حالی که نتایج شبیه‌سازی‌های اولیه الزام استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی خارج از حوضه را نشان داده است. در اینجا برای مدل‌سازی اثرات کارست از روش تفکیک جریان پایه استفاده شده است. در خصوص الزام لحاظ کردن اثر بکارگیری اثر کارست و داده ایستگاه‌های باران‌سنجی مختلف براساس تفکیک جریان پایه چند سناریوی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مشخص شده است. تمامی سناریوها مشابه سناریوهای ایستگاه قبل است با این تفاوت که در سناریو سوم از ایستگاه CFSR به کد P۳۲۳۵۰۳ استفاده شده است.

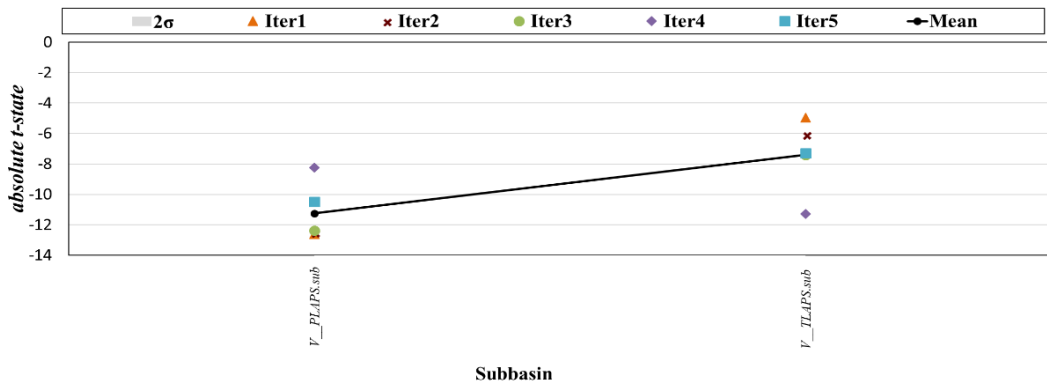
در مدل بخش بازفت شهید خدزی مهم‌ترین پارامترها به ترتیب از یک دسته زیرحوضه هستند. قابل ذکر است که با توجه به شکل‌های ۸ الی ۱۰ طی مراحل الگوریتم رتبه پارامترها جابجا شده و یا در رتبه تغییرات زیادی مشاهده شده است. در اینجا به مهم‌ترین آن‌ها اشاره شده است. پارامتر V_TLAPS.sub در مرحله‌های ۱ تا ۳ در رتبه اول



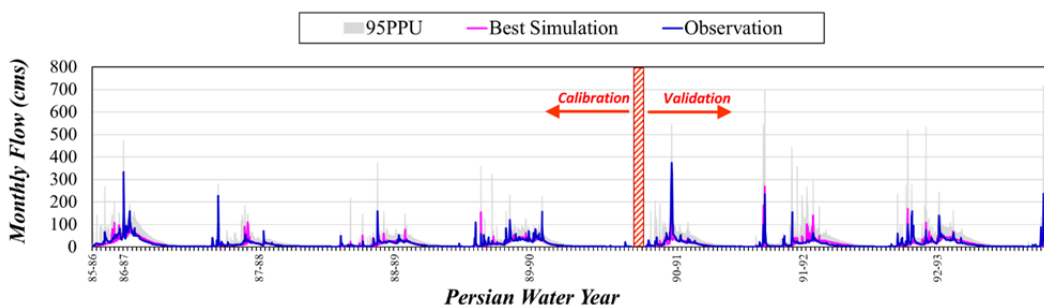
شکل ۸- رتبه پارامترها در تحلیل حساسیت مدل مربوط به ایستگاه شهید خدزی-رودخانه بازفت



شکل ۹- مقدار شاخص p-value در تحلیل حساسیت پارامترهای مدل مربوط به ایستگاه شهید خدزی-رودخانه بازفت



شکل ۱۰- مقدار شاخص t-state در تحلیل حساسیت مدل مربوط به ایستگاه شهید خدزی-رودخانه بازفت



شکل ۱۱- نتایج شبیه سازی بهترین سناریوی هیدرولوژیکی مربوط به ایستگاه شهید خدری- رودخانه بازفت

جدول ۴- مقادیر شاخص‌ها و انسجی به ازای سناریوها و تکرارها مختلف مربوط به بخش بازفت- گوشه پل باران

سناریو	۱	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲
مرحله مدل‌سازی	انسجی	انسجی	انسجی	انسجی	انسجی	انسجی	انسجی	اعتبارسنجی
تکرار الگوریتم	۱	۱	۱	۲	۲	۳	۴	۵
تعداد شبیه‌سازی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
p-factor	۰.۹۷	۰.۹۴	۰.۹۲	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۹۸
r-factor	۲.۱۹	۱.۲۲	۱.۲۱	۲.۰۴	۲.۲۹	۲.۳۸	۲.۳۴	۳.۴۶
R ^۲	۰.۷۴	۰.۷۷	۰.۷۳	۰.۷۷	۰.۷۶	۰.۷۶	۰.۷۶	۰.۷۲
NS	۰.۶۷	۰.۶۸	۰.۶۸	۰.۶۶	۰.۷۴	۰.۷۲	۰.۷۲	۰.۶۹
bR ^۲	۰.۴۴	۰.۴۴	۰.۴۵	۰.۴۳	۰.۵۸	۰.۵۵	۰.۵۵	۰.۴۶
MSE	۲.۷۰	۲.۶۰	۲.۶۰	۲.۸۰	۲.۱۰	۲.۳۰	۲.۳۰	۱.۷۰
SSQR	۱.۲۰	۱.۵۰	۱.۲۰	۱.۷۰	۰.۴۳	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۵۷
PBIAS	۱۹.۷۰	۲۱.۰۰	۱۸.۶۰	۲۲.۷۰	-۱۲.۰۰	-۱۹.۶۰	-۱۹.۶۰	۹.۲۰
KGE	۰.۶۱	۰.۵۸	۰.۶۳	۰.۵۵	۰.۷۹	۰.۷۱	۰.۷۱	۰.۷۰
RSR	۰.۵۷	۰.۵۷	۰.۵۷	۰.۵۸	۰.۵۱	۰.۵۳	۰.۵۳	۰.۵۶
MNS	۰.۶۲	۰.۶۳	۰.۶۴	۰.۶۲	۰.۵۵	۰.۴۶	۰.۴۶	۰.۵۷
VOL_FR	۱.۲۵	۱.۲۷	۱.۲۳	۱.۲۹	۰.۸۹	۰.۸۴	۰.۸۴	۱.۱۰
Mean_sim	۲.۲۰	۲.۲۶	۲.۳۳	۲.۲۱	۳.۲۰	۳.۴۲	۳.۴۲	۳.۰۵
Mean_obs	۲.۸۶	-۲.۸۶	-۲.۸۶	-۲.۸۶	-۲.۸۶	-۲.۸۶	-۲.۸۶	-۳.۳۶
Std Dev_sim	۱.۹۷	۱.۸۵	۲.۰۳	۱.۷۹	۲.۴۹	۲.۳۷	۲.۳۷	۱.۷۶
StdDev_obs	۲.۸۴	-۲.۸۴	-۲.۸۴	-۲.۸۴	-۲.۸۴	-۲.۸۴	-۲.۸۴	-۲.۳۳

نتایج بیانگر این است که در مقایسه میان میانگین و انحراف معیار سری‌های زمانی بهترین شبیه‌سازی و سری‌های زمانی مشاهدات، در سناریو اول بسیار دقیق‌تر است. در شاخص PBIAS برداشت مشابهی

شاخص‌های ارائه شده و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی در قالب سری‌های زمانی مشاهدات، بهترین شبیه‌سازی و باند ۹۵PPU بررسی شده و مقادیر شاخص‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

تعیین کننده‌تر برای تحلیل حساسیت پارامترها استفاده گردد. بنابراین جهت تعیین رتبه پارامترها، بر روی شکل میانگین رتبه پارامترها نشان داده شده است. این امر موجب شده که در رتبه‌بندی تمامی پارامترها دید بهتری ایجاد شود. مهم‌ترین پارامترها در خصوص مدل بخش بازفت گوشه پل باران به ترتیب دسته‌ها (۱) برف شامل SMTMP و SFTMP (۲) جریان آبراهه شامل، ALPHA_BF (۳) رواناب سطحی شامل، CANMX و OV_N (۴) آب‌های زیرزمینی شامل GW_DEALY و GWQMN (۵) منطقه غیراشباع شامل SOL_K و SOL_BD مشخص شده است. همچنین برای بخش بازفت گوشه پل باران بهترین تخمین پارامترها به صورت سناریوی ۱، تکرار ۵ معرفی می‌شود.

در خصوص ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه هیدرومتری مورز می‌توان گفت که این ایستگاه در اواسط رودخانه بازفت قرار دارد. نتایج شبیه‌سازی‌های اولیه ضرورت استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی خارج از حوضه را نشان داده است. اما از ایستگاه‌های هواشناسی CSFR برای زیر حوضه‌های این بخش بر اساس روش نزدیکترین همسایگی مدل SWAT استفاده شده است. در این بخش جهت مدل‌سازی اثرات کارست از روش تفکیک جریان پایه استفاده شده است. از طرفی ۲ سناریوی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در مورد ضرورت لحاظ کردن اثر بکارگیری داده ایستگاه‌های باران‌سنجی متفاوت و اثر کارست بر اساس تفکیک جریان پایه تعیین شده است.

بدست آمده است. در این شاخص تمامی سناریوها مثبت و قدرمطلق این شاخص در سناریو سوم از سایر سناریوها کم‌تر و مطلوب‌تر است. در شاخص p-factor نیز نتایج سناریو اول به سناریو دوم و سوم نزدیک است. این نتایج نشان دهنده این است که هیچ یک از مشاهدات در بازه عدم قطعیت شبیه‌سازی ۹۰PPU قرار نگرفته است که البته مطلوب است. همچنین طبق شاخص‌های NSE، br^2 و KGE سناریوی ۳ بزرگ‌تر از سایر سناریوها بوده و در نتیجه بهتر از آن‌ها است. همچنین در شاخص‌های MSE و SSQR، نیز سناریوی سوم دارای کم‌ترین مقدار خطای مطلق بوده است. با توجه به اینکه سناریو سوم نتایج مطلوب‌تری در خطای مطلق و همچنین برخی دیگر از معیارها داشته است اما باید توجه داشت که با دیگر سناریوها اختلاف چشمگیری ندارد.

از سویی نتایج سناریو ۱ در شاخص‌های p-factor و r-factor در این بخش بیشتر مد نظر بوده است. پس می‌توان نتیجه گرفت که سناریوی ۱ بهترین سناریوی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است.

نتایج تحلیل حساسیت به تفکیک واسنجی که از روش SUF_{12} استفاده شده است بررسی شده است همچنین رتبه پارامترها در این بخش بر مبنای شاخص‌های p-value و t-state صورت گرفته است. رتبه پارامترها در تکرارهای متفاوت الگوریتم نوسانات زیادی را در بر داشته است. پس می‌توان نتیجه گرفت که جمع‌بندی در مورد اهمیت نسبی پارامترها براساس رتبه بدست آمده دشوار است. توصیه شده از روش‌های

جدول ۵- مقادیر شاخص‌ها و اسنجی به ازای سناریوها و تکرارها مختلف مربوط به بخش بازفت- مورز

سناریو	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله مدل‌سازی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	و اسنجی	اعتبارسنجی
تکرار الگوریتم	۱	۱	۱	۲	۳	۴	۵	۵
تعداد شبیه‌سازی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰
p-factor	۰.۵۱	۰.۴۱	۰.۵۱	۰.۸۷	۰.۵۱	۰.۸۶	۰.۸۶	۰.۹۹
r-factor	۰.۵۹	۰.۱۹	۰.۵۹	۱.۳۶	۱.۳۸	۱.۴۴	۱.۴۴	۱.۸۴
R ^۲	۰.۳۸	۰.۳۲	۰.۳۸	۰.۴۷	۰.۵۱	۰.۴۷	۰.۴۷	۰.۵۴
NS	۰.۳۱	۰.۱	۰.۳۱	۰.۴۵	۰.۴۴	۰.۴۵	۰.۴۵	۰.۵۲
bR ^۲	۰.۰۸۱۲	۰.۰۳۵۵	۰.۰۸۱۲	۰.۲۷۸۱	۰.۳۵۷۸	۰.۳۳۲۲	۰.۳۳۲۲	۰.۲۶۷۷
MSE	۱۱۰۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰	۹۰۰	۹۱۰	۹۰۰	۹۰۰	۷۳۰
SSQR	۹۲۰	۱۳۰۰	۹۲۰	۶۹	۹۷	۲۱۰	۲۱۰	۳۷۰
PBIAS	۳.۹	۳۸.۴	۳.۹	-۴.۳	-۷.۵	۲۰.۲	۲۰.۲	۲۰.۲
KGE	۰.۲۴	۰.۰۱	۰.۲۴	۰.۶۵	۰.۷	۰.۵۳	۰.۵۳	۰.۵۳
RSR	۰.۸۳	۰.۹۵	۰.۸۳	۰.۷۴	۰.۷۵	۰.۷۴	۰.۷۴	۰.۷
MNS	۰.۳۴	۰.۳۱	۰.۳۴	۰.۳۲	۰.۳	۰.۳۵	۰.۳۵	۰.۴۸
VOL_FR	۱.۰۴	۱.۶۲	۱.۰۴	۰.۹۶	۰.۹۳	۱.۲۵	۱.۲۵	۱.۲۵
Mean_sim	۲۸.۸۴	۱۸.۵	۲۸.۸۴	۳۱.۳۳	۳۲.۲۸	۲۳.۹۶	۲۳.۹۶	۲۳.۶۵
Mean_obs	۲۰.۰۳	-۳۰.۰۳	۲۰.۰۳	-۳۰.۰۳	-۳۰.۰۳	-۳۰.۰۳	-۳۰.۰۳	-۲۹.۶۴
Std Dev_sim	۱۴.۰۱	۷.۹۷	۱۴.۰۱	۳۴.۴	۳۹.۴	۲۹.۰۶	۲۹.۰۶	۲۵.۸۳
StdDev_obs	۴۰.۳۱	-۴۰.۳۱	۴۰.۳۱	-۴۰.۳۱	-۴۰.۳۱	-۴۰.۳۱	-۴۰.۳۱	-۳۸.۷۹

در هر ۲ سناریو به تفکیک جریان پایه و برداشت‌های آب توجه نشده است. همچنین با لحاظ مشاهدات آبدی طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ برای واسنجی و لحاظ مشاهدات آبدی طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ برای اعتبارسنجی از یک ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. با این تفاوت که در سناریو اول از ایستگاهی به کد P326497 و در سناریو دوم ایستگاهی به کد P323000 به کار گرفته شده است. در جدول ۵ مقادیر شاخص‌ها نشان داده شده است. در این بخش میانگین و انحراف معیار میان سری‌های زمانی بهترین شبیه‌سازی و مشاهدات مقایسه شده است. نتایج نشان داد که سناریو اول دقیق‌تر است. در شاخص PBIAS

در هر ۲ سناریو به تفکیک جریان پایه و برداشت‌های آب توجه نشده است. همچنین با لحاظ مشاهدات آبدی طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ برای واسنجی و لحاظ مشاهدات آبدی طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ برای اعتبارسنجی از یک ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. با این تفاوت که در سناریو اول از ایستگاهی به کد P326497 و در سناریو دوم ایستگاهی به کد P323000 به کار گرفته شده است. در جدول ۵ مقادیر شاخص‌ها نشان داده شده است. در این بخش میانگین و انحراف معیار میان سری‌های زمانی بهترین شبیه‌سازی و مشاهدات مقایسه شده است. نتایج نشان داد که سناریو اول دقیق‌تر است. در شاخص PBIAS

ایستگاه‌های هواشناسی خارج از حوضه را مشخص کرده است. در این بخش جهت مدلسازی اثرات کارست از روش تفکیک جریان پایه استفاده شده است. در مورد ضرورت در نظر گرفتن داده ایستگاه‌های بارانسنجی متفاوت و اثر کارست بر اساس تفکیک جریان پایه ۲ سناریو تعریف شده است.

در هر دو سناریو از یک ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. با این تفاوت که در سناریو اول از ایستگاهی به کد P۳۲۰۵۰۰ و در سناریو دوم ایستگاهی به کد P۳۲۰۵۰۳ بکار گرفته شده است. سناریوها بدون در نظر گرفتن برداشت‌های آب و بدون تفکیک جریان پایه تعریف شده است. همچنین مشاهدات آبدی مربوط به سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۷ برای واسنجی و مشاهدات مربوط به سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ برای اعتبارسنجی در این دو سناریو لحاظ شده است. در جدول ۶ مقادیر شاخص‌ها نشان داده شده است. با مقایسه میانگین و انحراف معیار سری‌های زمانی مشاهدات و سری‌های زمانی بهترین شبیه‌سازی می‌توان با این نتیجه رسید که در بین نتایج سناریو دوم دقیق‌تر است. در شاخص PBIAS هر دو سناریو مثبت و تخمین دست پایین داشته است و قدر مطلق این شاخص در سناریو اول مطلوب‌تر و کم‌تر است. در شاخص p-factor مشخص شده که سناریو اول از سناریو دیگر بیشتر است. از سویی در شاخص‌های NSE، bR² و KGE سناریو دوم بیشتر از سناریو اول برآورد شده که البته مطلوب‌تر است. از

اول بیشتر مد نظر بوده، می‌توان بهترین سناریو شبیه‌سازی هیدرولوژیکی را سناریو اول در نظر گرفت. در این بخش رتبه بندی پارامترها بر اساس شاخص‌های t-state و p-value انجام شده است. به طوری که در شاخص p-value هر پارامتر که مقدار آن کم‌تر است در رتبه‌های ابتدایی‌تر قرار گرفته است.

رتبه پارامترها در تکرارهای متفاوت الگوریتم نوسانات زیادی داشته است. با توجه به این نوسانات جمع‌بندی در مورد اهمیت نسبی پارامترها براساس رتبه بدست آمده آسان نیست. در نتیجه توصیه می‌گردد تا از روش‌های تعیین‌کننده‌تر برای تحلیل حساسیت پارامترها استفاده شود. همچنین به منظور تعیین رتبه‌های پارامترها با توجه به میانگین رتبه، مهم‌ترین پارامترها در مورد مدل بخش بازفت گوشه پل باران به ترتیب شامل (۱) برف شامل SMTMP و SFTMP (۲) جریان آبراهه شامل، ALPHA_BF (۳) رواناب سطحی شامل، CANMX و OV_N (۴) آب‌های زیرزمینی شامل GW_DEALY و GWQMN (۵) منطقه غیراشباع شامل SOL_K و SOL_BD می‌شود. نتایج نشان داد که بهترین تخمین پارامترها برای بخش بازفت گوشه پل باران به صورت سناریوی ۱، تکرار ۵ معرفی می‌شود.

ایستگاه چهارم ایستگاه مرغک نام دارد. این ایستگاه هیدرومتری در انتهای رودخانه قرار دارد. از ایستگاه‌های CSFR برای زیر حوضه‌های این بخش بر پایه روش نزدیک‌ترین همسایگی مدل SWAT از یک ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. در حالی که نتایج شبیه‌سازی‌های اولیه الزام استفاده از

سوئی دیگر در شاخص‌های MSE و SSQR هر دو سناریو خطای مطلق برابری دارند.

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های واسنجی به ازای سناریوهای و تکرارهای مختلف مربوط به بخش مرغک-رودخانه بازفت

سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
مرحله مدل‌سازی	واسنجی	واسنجی	واسنجی	واسنجی	واسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی
تکرار الگوریتم	۱	۱	۲	۳	۴	۵	۵
تعداد شبیه‌سازی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
p-factor	۰.۹۴	۰.۹۴	۰.۸۲	۰.۹۵	۰.۹۴	۰.۹۷	۰.۸۹
r-factor	۰.۹۳	۰.۹۳	۰.۵۷	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۹۱	۱.۴۵
R ²	۰.۸۲	۰.۸۳	۰.۷۷	۰.۸۳	۰.۸۳	۰.۸۱	۰.۶۸
NS	۰.۸۰	۰.۸۱	۰.۷۵	۰.۸۱	۰.۸۱	۰.۸۰	۰.۵۸
bR ²	۰.۷۵	۰.۷۶	۰.۶۰	۰.۷۶	۰.۷۶	۰.۷۰	۰.۴۴۳۹
MSE	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۶۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۳.۷۰E+۰۲
SSQR	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۵۳۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱.۹۰E+۰۲
PBIAS	-۱۳.۰۰	-۱۲.۸۰	-۱۱.۱۰	-۱۲.۸۰	-۱۲.۸۰	-۱۱.۱۰	-۲۴.۳
KGE	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۸۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۶۳
RSR	۰.۴۵	۰.۴۴	۰.۵۰	۰.۴۴	۰.۴۴	۰.۴۵	۰.۶۵
MNS	۰.۶۶	۰.۶۷	۰.۶۵	۰.۶۷	۰.۶۷	۰.۶۶	۰.۳۸
VOL_FR	۰.۸۸	۰.۸۹	۰.۹۰	۰.۸۹	۰.۸۹	۰.۹۰	۰.۸
Mean_sim	۸۱.۶۲	۸۱.۴۹	۸۰.۲۲	۸۱.۴۸	۸۱.۴۹	۸۰.۲۵	۴۷.۶۳
Mean_obs	۷۲.۲۲	-۷۲.۲۲	-۷۲.۲۲	-۷۲.۲۲	-۷۲.۲۲	-۷۲.۲۲	-۳۸.۳۳
Std Dev_sim	۸۰.۹۹	۸۰.۷۴	۷۲.۴۵	۸۰.۸۲	۸۰.۸۲	۷۶.۷۰	۲۳.۳۴
StdDev_obs	۸۰.۷۴	-۸۰.۷۴	-۸۰.۷۴	-۸۰.۷۴	-۸۰.۷۴	-۸۰.۷۴	-۲۹.۶

است. همبستگی مشاهداتی و شبیه‌سازی روزانه در طی سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۲ بیانگر این موضوع است که در شبیه‌سازی حوضه آبریز بازفت، این مدل توانایی مشخص کردن و تخمین روزانه را دارد. نتایج نشان دهنده این است که در خصوص پیش‌بینی کارکرد آب حوضه‌های آبخیز و مطالعه هیدرولوژی، مدل SWAT می‌تواند خیلی مفید واقع شود. از طرفی این مدل SWAT تعبیه شده در GIS می‌تواند برای توسعه و مدیریت پایدار منابع آب در سطح حوضه آبخیز آینده‌نگر باشد. بنابراین مطالعات پیش رو باید تغییرات آب و هوایی هم شامل شود تا تاثیرات تغییرات اقلیم روی این حوضه مشخص شود. پیشنهاد شده از مدل DEM مبتنی بر LiDAR برای وضوح بهتر و همچنین برای مدل‌سازی دقیق‌تر استفاده شود. همچنین از اطلاعات بارندگی در کنار تمام اطلاعات اقلیمی پایگاه NCEP CFSR جهت بررسی دقت و اثر این پارامتر روی میزان تبخیر و تعرق و نتایج واسنجی مدل SWAT استفاده شود. همین طور برای نتایج دقیق‌تر مدل‌سازی حوضه کوه‌رنگ و بازفت به صورت یکپارچه انجام شود. از طرفی سناریوهای مدیریتی مانند تغییر زمان کشت در این حوضه توسط مدل SWAT بررسی شود. از طرف دیگر توانایی ماژول‌های هیدرولوژی زیر سطح SWAT برای استفاده در این حوضه با ویژگی‌های کارستی انجام شود. هدف از این مطالعه بکارگیری یک روش

لازم به ذکر است که با توجه به معیارهای ارائه شده سناریو ۲ بهترین سناریو شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است همان گونه که نتایج بیان می‌کند، رتبه پارامترها در تکرارهای متفاوت الگوریتم نوسانات زیادی داشته است. در این قسمت رتبه بندی پارامترها بر اساس شاخص‌های t-state و p-value انجام شده است. به صورتی که در شاخص p-value هر پارامتر که مقدار آن کم‌تر است در رتبه‌های کم‌تر قرار گرفته است.

از آنجایی که جمع‌بندی در مورد اهمیت نسبی پارامترها براساس رتبه بدست آمده مشکل است، توصیه شده تا از روش‌های تعیین کننده‌تر برای تحلیل حساسیت پارامترها استفاده شود. همچنین به منظور تعیین رتبه‌های پارامترها با توجه به میانگین رتبه، مهم‌ترین پارامترها در مورد مدل مذکور به ترتیب همانند ایستگاه قبلی است. پس می‌توان نتیجه گرفت که بهترین تخمین پارامترها برای بخش مرعک رودخانه بازفت به صورت سناریوی ۱، تکرار ۵ می‌باشد.

نتایج و بحث

رودخانه بازفت که بخشی از حوضه کارون است، به علت موقعیت جغرافیایی سهم زیادی در تولید منابع آب منطقه دارد. سناریوهای برای هر ایستگاه به جهت پیش‌بینی تغییرات رواناب در آینده و وضعیت عملکرد در حوضه آبریز بازفت آماده شده

مراجع

Amatya, D. M., Jha, M., Edwards, A. E., Williams, T. M., and Hitchcock, D. R. (۲۰۱۱). SWAT-BASED STREAMFLOW AND EMBAYMENT MODELING OF KARST-AFFECTED CHAPEL BRANCH WATERSHED, SOUTH CAROLINA. Transactions of the ASABE, ۵۴(۴), ۱۳۱۱-۱۳۲۳.

Amatya, D.M., Jha, M.K., Williams, T.M., Edwards, A.E., Hitchcock, D.R., ۲۰۱۳. SWATmodel prediction of phosphorus loading in a South Carolina Karst Watershedwith a downstream embayment. J. Environ. Prot. ۴, ۷۵-۹۰.

Arnold, J. G., and Allen, P. M. (۱۹۹۶). Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. Journal of Hydrology, ۱۷۶(۱-۴), ۵۷-۷۷.
doi:http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/۰۰۲۲-۱۶۹۴(۹۵)۰۲۷۸۲-۳

Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., . . . Van Liew, M. W. (۲۰۱۲). SWAT: Model use, calibration, and validation. Transactions of the ASABE, ۵۵(۴), ۱۴۹۱-۱۵۰۸.

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Ramanarayanan, T. S., and DiLuzio, M. (۱۹۹۹). Water resources of the Texas Gulf basin. Water Science and Technology, ۳۹(۳), ۱۲۱-۱۳۳.

Auerbach, D. A., Easton, Z. M., Walter, M. T., Flecker, A. S., and Fuka, D. R. (۲۰۱۶).

بر پایه فیلترینگ جریان پایه به منظور مدل‌سازی رودخانه‌های کارستی است. این روش که قبلاً در مدل‌سازی با SWAT انجام نگرفته است، آسان‌تر از ماجول‌های محاسباتی است که قبلاً استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

امروزه به دلیل کاربرد شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب آب‌های سطحی و رودخانه‌ها در زمینه‌هایی همچون شرب و کشاورزی، برای پیش‌بینی رواناب‌ها از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد. در این تحقیق از داده‌های بازتحلیلی و مشاهدات زمینی و از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUF_{12} جهت واسنجی مدل استفاده شده است. همچنین در این مقاله سری زمانی، تفکیک جریان پایه، تحلیل حساسیت و کالیبراسون نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بیانگر این است که محققین توانستند با اصلاح مدل SWAT، جمع‌آوری داده‌های پایگاه‌های اقلیمی و تعریف سناریوهای مختلف عملیات موثر بر مناطق کارستیک در راستای مدیریت رواناب آب سطحی و زیرزمینی را انجام دهند. همچنین مشخص شد که مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های کارستی می‌تواند دقت بیشتری را در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی داشته باشد، در صورتی که مقادیر نفوذ افزایش یابد و یا در مدل SWAT با طراحی و قرار دادن فروچاله و اصلاح کدهای آن همراه باشد.

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز بازفت در حضور آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای
عاطفه گلابی، حسین علیزاده

Environmental Geology , Volume ۵۱ ,
Number ۵/January, ۲۰۰۷.

Fuka, D. R., Walter, M. T., MacAlister, C.,
Degaetano, A. T., Steenhuis, T. S., and
Easton, Z. M. (۲۰۱۴). Using the Climate
Forecast System Reanalysis as weather input
data for watershed models. Hydrological
Processes, ۲۸(۲۲), ۵۶۱۳-۵۶۲۳.
doi:۱۰.۱۰۰۲/hyp.۱۰۰۷۳

Gassman, P. W., Osei, E., Saleh, A.,
Rodecap, J., Norvell, S., and Williams, J.
(۲۰۰۶). Alternative practices for sediment
and nutrient loss control on livestock farms
in northeast Iowa. Agriculture, Ecosystems
and Environment, ۱۱۷(۲-۳), ۱۳۵-۱۴۴.

Gosset, M., Viarre, J., Quantin, G., and
Alcoba, M. (۲۰۱۳). Evaluation of several
rainfall products used for hydrological
applications over West Africa using two
high-resolution gauge networks. Quarterly
Journal of the Royal Meteorological Society,
۱۳۹(۶۷۳), ۹۲۳-۹۴۰.

Grusson, Y., Anctil, F., Sauvage, S., and
Sánchez Pérez, J. (۲۰۱۷). Testing the SWAT
Model with Gridded Weather Data of
Different Spatial Resolutions. Water, ۹(۱),
۵۴.

Higgins, R. W., Kousky, V. E., Silva, V. B.
S., Becker, E., and Xie, P. (۲۰۱۰).
Intercomparison of Daily Precipitation
Statistics over the United States in
Observations and in NCEP Reanalysis
Products. Journal of Climate, ۲۳(۱۷), ۴۶۳۷-
۴۶۵۰. doi:۱۰.۱۱۷۵/۲۰۱۰JCLI۳۶۳۸,۱

Evaluating weather observations and the
Climate Forecast System Reanalysis as
inputs for hydrologic modelling in the
tropics. Hydrological Processes, ۳۰(۱۹),
۳۴۶۶-۳۴۷۷. doi:۱۰.۱۰۰۲/hyp.۱۰۸۶۰

Baffaut, C., and Benson, V. W. (۲۰۰۹).
Modeling flow and pollutant transport in a
karst watershed with swat. Transactions of
the ASABE, ۵۲(۲), ۴۶۹-۴۷۰.

Casse, C., Gosset, M., Peugeot, C., Pedinotti,
V., Boone, A., Tanimoun, B. A., and
Decharme, B. (۲۰۱۵). Potential of satellite
rainfall products to predict Niger River flood
events in Niamey. Atmospheric Research,
۱۶۳, ۱۶۲-۱۷۶.
doi:http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.atmosres.۲۰
۱۵,۰۱,۰۱۰

Cvijic, j. (۱۹۲۵). Types morphologiques des
terrains calaires: Coptes Rendus. Acade mie
des Sciences (Paris), ۱۸۰, ۵۹۲, ۷۵۷, ۱۰۳۸.

Dile, Y. T., and Srinivasan, R. (۲۰۱۴).
Evaluation of CFSR climate data for
hydrologic prediction in data-scarce
watersheds: an application in the Blue Nile
River Basin. JAWRA Journal of the
American Water Resources Association,
۵۰(۵), ۱۲۲۶-۱۲۴۱. doi:۱۰.۱۱۱۱/jawr.۱۲۱۸۲

Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., Roads, J.
O., and Willmott, C. J. (۲۰۰۴). Uncertainties
in Precipitation and Their Impacts on Runoff
Estimates. Journal of Climate, ۱۷(۲), ۲۹۴-
۳۰۴.

Ford, D.C. (۲۰۰۷). Javan Cvijic And The
Founding Of Karst Geomorphology.

river discharge modelling of the Tocantins catchment. *Hydrological Processes*, ۳۰(۹), ۱۴۱۹-۱۴۳۰. doi:۱۰.۱۰۰۲/hyp.۱۰۷۰۸

Nikolaidis, N. P., Bouraoui, F., and Bidoglio, G. (۲۰۱۳). Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed. *Journal of Hydrology*, ۴۷۷, ۱۲۹-۱۳۸. doi:http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۱۲.۱۱.۰۱۸

Nkiaka, E., Nawaz, N., and Lovett, J. C. (۲۰۱۷). Evaluating Global Reanalysis Datasets as Input for Hydrological Modelling in the Sudano-Sahel Region. *Hydrology*, ۴(۱), ۱۳.

Palanisamy, B., and Workman, S. R. (۲۰۱۵). Hydrologic Modeling of Flow through Sinkholes Located in Streambeds of Cane Run Stream, Kentucky. *Journal of Hydrologic Engineering*, ۲۰(۵).

Piani, C., Haerter, J. O., and Coppola, E. (۲۰۱۰). Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, ۹۹(۱), ۱۸۷-۱۹۲. doi:۱۰.۱۰۰۷/s۰۰۷۰۴-۰۰۹-۰۱۳۴-۹

Piani, C., Weedon, G. P., Best, M., Gomes, S. M., Viterbo, P., Hagemann, S., and Haerter, J. O. (۲۰۱۰). Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology*, ۳۹۵(۳), ۱۹۹-۲۱۵. doi:http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۱۰.۱۰.۰۲۴

Jourde, H., Roesch, A., Guinot, V., Bailly-Comte, V., ۲۰۰۷. Dynamics and contribution of karst groundwater to surface flow during Mediterranean flood. *Environ. Geol.* ۵۱ (۵), ۲۵-۷۳۰.

Kadić, Ottokár. (۱۹۳۹). A budavári barlangpincék földtani viszonyai: előadta a Szent István Akadémia IV. osztályának ۱۹۳۶ november ۲۷-én tartott ülésén ; Stephaneum.

Katiraie-Boroujerdy, P.-S., Nasrollahi, N., Hsu, K.-I., and Sorooshian, S. (۲۰۱۶). Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology*, ۱۲۳(۱), ۳۸۷-۳۹۸. doi:۱۰.۱۰۰۷/s۰۰۷۰۴-۰۱۴-۱۳۶۰-۳

Komatina, M. (۱۹۷۳). Hydrogeological relations in karst of Dinarides. *Vesnik Geozavoda X/XI*, Beograd, Yugoslavia.

Lamoreaux, P. E. (۱۹۹۱). History Of Karst hydrogeological studies, *Proceedings Of the International Changes in Karst Areas – I.G.U.- U.I.S.- Italy ۱۵-۲۷ Sept. ۱۹۹۱ ; Quaderni del Dipartimento di Geografia n. ۱۳, ۱۹۹۱ –Universita di padova*, pp. ۲۱۵-۲۲۹.

Martinez-Santos, P., Andreu, J.M., ۲۰۱۰. Lumped and distributed approaches to model natural recharge in semiarid karst aquifers. *J. Hydrol.* ۳۸۸, ۳۸۹-۳۹۸.

Milanovic', P.T. (۱۹۸۱). Karst hydrology. WPR, Colorado, U.S.A., ۴۳۴. Monteiro, J. A. F., Strauch, M., Srinivasan, R., Abbaspour, K., and Gücker, B. (۲۰۱۶). Accuracy of grid precipitation data for Brazil: application in

۱۸(۱۲), ۵۰۷۷-۵۰۹۱. doi:۱۰.۵۱۹۴/hess-۱۸-۵۰۷۷-

Sperna Weiland, F. C., Vrugt, J. A., van Beek, R. P. H., Weerts, A. H., and Bierkens, M. F. P. (۲۰۱۵). Significant uncertainty in global scale hydrological modeling from precipitation data errors. *Journal of Hydrology*, ۵۲۹, ۱۰۹۵-۱۱۱۵. doi:http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۱۵.۰۸.۰۶۱

Spruill, C.A., Workan, S.R., Taraba, J.L., ۲۰۰۰. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. *Trans. ASABE* ۴۳ (۶), ۱۴۳۱-۱۴۳۹.

Spruill, C. A., Workman, S. R., and Taraba, J. L. (۲۰۰۰). Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. *Transactions of the ASAE*, ۴۳(۶), ۱۴۳۱-۱۴۳۹. Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., and De Roo, A. (۲۰۱۳). Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin. *Journal of Hydrology*, ۴۹۹, ۳۲۴-۳۳۸.

Vale, M., and Holman, I. P. (۲۰۰۹). Understanding the hydrological functioning of a shallow lake system within a coastal karstic aquifer in Wales, UK. *Journal of Hydrology*, ۳۷۶(۱-۲), ۲۸۵-۲۹۴. doi:۱۰.۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۰۹.۰۷.۰۴۱

Wang, Y., and Brubaker, K. (۲۰۱۴). Implementing a nonlinear groundwater module in the soil and water assessment tool

Raziei, T., Bordi, I., and Pereira, L. S. (۲۰۱۱). An Application of GPCC and NCEP/NCAR Datasets for Drought Variability Analysis in Iran. *Water Resources Management*, ۲۵(۴), ۱۰۷۵-۱۰۸۶. doi:۱۰.۱۰۰۷/s۱۱۲۶۹-۰۱۰-۹۶۵۷-۱

Rozos, E., Koutsoyiannis, D., ۲۰۰۶. A multicell karstic aquifer model with alternative flow equations. *J. Hydrol.* ۳۲۵, ۳۴۰-۳۵۵.

Salerno, F., and Tartari, G. (۲۰۰۹). A coupled approach of surface hydrological modelling and Wavelet Analysis for understanding the baseflow components of river discharge in karst environments. *Journal of Hydrology*, ۳۷۶(۱-۲), ۲۹۵-۳۰۶. doi:۱۰.۱۰۱۶/j.jhydrol.۲۰۰۹.۰۷.۰۴۲

Salerno, F., Tartari, G., ۲۰۰۹. A coupled approach of surface hydrological modeling and wavelet analysis for understanding the baseflow component of river discharge in karst environments. *J. Hydrol.* ۳۷۶ (۱-۲), ۲۹۵-۳۰۶.

Schuel, J., and Abbaspour, K. C. (۲۰۰۷). Using monthly weather statistics to generate daily data in a SWAT model application to West Africa. *Ecological Modelling*, ۲۰۱(۳-۴), ۳۰۱-۳۱۱. doi:http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.ecolmodel.۲۰۰۶.۰۹.۰۲۸

Seyyedi, H., Anagnostou, E. N., Beighley, E., and McCollum, J. (۲۰۱۴). Satellite-driven downscaling of global reanalysis precipitation products for hydrological applications. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*,

(SWAT). Hydrological Processes, ۲۸(۹), ۳۳۸۸-۳۴۰۳. doi:۱۰.۱۰۰۲/hyp.۹۸۹۳

Williams, T. M., Amatya, D. M., Hitchcock, D. R., and Edwards, A. E. (۲۰۱۴). Streamflow and Nutrients from a Karst Watershed with a Downstream Embayment: Chapel Branch Creek. Journal of Hydrologic Engineering, ۱۹(۲), ۴۲۸-۴۳۸. doi:۱۰.۱۰۶۱/(asce)he.۱۹۴۳-۵۵۸۴,۰۰۰۰