

## ارزیابی کارآیی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبریز گاماسیاب

- ❖ شهاب‌الدین زارع زاده مهریزی؛ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان
- ❖ اسداله خورانی\*؛ دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان
- ❖ جواد بذرافشان؛ دانشیار، گروه کشاورزی و آبیاری، دانشگاه تهران، تهران
- ❖ ام‌البنین بذرافشان؛ استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان

### چکیده

رودخانه گاماسیاب یکی از پنج شاخه اصلی رودخانه کرخه است و نقش اساسی در حفظ حیات و زیست بوم منطقه دارد. برای اتخاذ شیوه‌های صحیح و پایدار مدیریت منابع آب رودخانه گاماسیاب، کسب آگاهی مستمر از وضعیت کمی و کیفی آب و نیز تغییرات آن ضروری است. امروزه استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی به منظور شبیه‌سازی فرآیندهای کمی و کیفی مرتبط با چرخه آب متداول است. برای استفاده از این مدل‌ها، اثبات توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی چرخه آبی حوضه لازم است. یکی از مدل‌هایی که در این راستا در سطح بین‌المللی مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرد مدل SWAT می‌باشد. این پژوهش به ارزیابی عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه گاماسیاب پرداخت. اجرای این مدل نیاز به نقشه‌رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه خاک، نقشه کاربری اراضی و طبقه‌بندی شیب دارد. در ابتدا دبی جریان با گام زمانی روزانه در ایستگاه هیدرومتری پلچهر با استفاده از داده‌های بارش دو ایستگاه سینوپتیک و سه ایستگاه هواشناسی و دمای حداقل و حداکثر روزانه دو ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و همدان برای دوره ۱۹۹۵-۱۹۷۷ میلادی واسنجی و سپس برای دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۵ میلادی اعتبارسنجی شد. ضرایب آماری شامل ضریب نش-ساتکلیف،  $R^2$ ، P-factor و R-factor برای دوره واسنجی به ترتیب برابر با ۰/۷۱، ۰/۷۳، ۰/۷۹، ۰/۳۶ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۵۷، ۰/۶۱، ۰/۷۱ و ۱/۳۴ بدست آمد. این نتایج حاکی از توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه گاماسیاب دارد و پژوهشگران می‌توانند از این مدل برای اعمال سناریوهای مدیریتی در زمان کوتاه و هزینه کم جهت تصمیم‌گیری بهتر استفاده نمایند.

واژگان کلیدی: مدل هیدرولوژیکی، پلچهر، واسنجی، اعتبارسنجی

## ۱. مقدمه

از مهم ترین روش های استفاده پایدار از منابع آب و خاک مدیریت صحیح حوضه های آبخیز است در کشور ما بیشتر حوضه های آبخیز فاقد ایستگاه های اندازه گیری به تعداد کافی می باشند که این امر هر گونه برنامه ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل و یا حتی با شکست مواجه می سازد [۳۳] با وجود راه کارهای مختلف نظیر فرمول های تجربی و مدل های ریاضی و کامپیوتری برای فائق آمدن بر این مشکل تاکنون هیچ کدام نتوانسته اند راه حل مطلوبی ارائه دهند. امروزه عقیده بر این است که شبیه سازی بوسیله مدل های هیدرولوژیک در حوضه های آبخیز می تواند راه حل مناسبی برای آن باشد

دسته ای از مدل های هیدرولوژیک مدل های توزیعی هستند که به دو دسته کلی تجربی و فیزیکی تقسیم بندی می شوند مدل های تجربی در واقع مدل های جعبه سیاه هستند و کوشش شده است که این مدل ها ارتباط لازم را بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار سازند [۹]. در مدل های توزیعی فیزیکی، حوضه آبخیز به واحدهای مجزا تقسیم می گردد و مقادیر مختلف پارامترهای فیزیکی به هر واحد اختصاص داده می شود [۱۵]. از آنجا که در حوضه های آبخیز امکان اندازه گیری تمام کمیت های مورد نیاز برای بررسی واکنش حوزه میسر نیست انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز یک پیش بینی با دقت مناسب ارائه کند ضروری می باشد. در سال های اخیر مدل های فیزیکی توزیعی به دلیل انطباق شان با مشخصه ها و یا خصوصیات نظری حوضه، اهمیت بیشتری یافته اند [۱۶]. مدل SWAT<sup>۱</sup> یک مدل فیزیکی، نیمه توزیعی و پیوسته زمانی است که برای شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژیک در مقیاس حوضه ارائه شده است [۲]، [۲۱]، [۲۴]. مدل SWAT قابلیت آنالیز داده ها در بازه های زمانی

سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را دارد از مزایای دیگر مدل SWAT این است که حوضه هایی که فاقد داده های برداشت شده می باشند نیز قابل شبیه سازی هستند و همچنین این مدل برای شبیه سازی حوضه های بزرگ و پیچیده و با راه کارهای مختلف مدیریتی بدون صرف زمان و هزینه زیاد قابل اجراست. با توجه به توانایی های مدل SWAT مطالعات بسیاری بوسیله آن در زمینه های گوناگون انجام شده است از مدل SWAT برای شبیه سازی رژیم جریان و پیش بینی رواناب تحت شرایط تغییر اقلیم، تعادل مواد شیمیایی، شبیه سازی انتقال رسوب و اعمال سناریوهای مدیریتی نظیر مطالعه تاثیرات تغییر کاربری اراضی بر شرایط هیدرولوژیک حوضه استفاده می شود با توجه به پایه فیزیکی مدل SWAT باید داده های ورودی و بازه تغییرات آن ها با واقعیت همخوانی و دقت بالایی داشته باشد [۸]. پژوهشگران با مطالعه خود در قسمت غرب قاره آفریقا دریافتند هر چه داده های ورودی دارای دقت بالاتری باشد علاوه بر نتایج بهتر در شبیه سازی نهایی تعداد شبیه سازی در مرحله واسنجی توسط SUFI2 کاهش پیدا می کند و در زمان کمتری مدل به نتیجه می رسد [۲۶]. در حوضه زاینده رود ارزیابی عملکرد مدل SWAT مورد بررسی قرار گرفت نتایج حاکی از توانایی مدل SWAT در شبیه سازی رواناب است و از نقاط ضعف آن عدم توانایی شبیه سازی ذوب برف می باشد [۱]. از ضعف های مدل SWAT عدم شبیه سازی مناسب دبی های اوج می باشد [۲۷، ۱۲] از مدل SWAT برای شبیه سازی هیدرولوژیک نواحی کوهستانی همراه با ذوب برف استفاده شد که نتایج کارایی این مدل را در شبیه سازی دبی نشان می دهد [۷] همچنین توانایی مدل SWAT در شبیه سازی دبی رودخانه واشیتا<sup>۲</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت نتایج نشان می دهد که مدل SWAT با دقت قابل قبولی قادر به شبیه سازی دبی است [۲۸]. برای پیش بینی انتقال رسوب و نترات از مدل SWAT استفاده

<sup>۱</sup>Washita<sup>۲</sup>Soil and Water Assessment Tools<sup>۳</sup>Sequential uncertainty fitting ver. 2

و اکوسیستم پارک دیندر با استفاده از مدل SWAT در سودان مورد بررسی قرار گرفت با مقایسه رواناب آبی با دوره خشک ۱۹۸۸-۱۹۷۷ میلادی، نتایج نشان از اثرات مثبت تغییر اقلیم بر اکوسیستم پارک ملی دیندر دارد [۱۱].

با توجه به قابلیت های مختلف مدل SWAT در مقیاس حوضه و بزرگتر از آن و کاربردهای مدیریتی این مدل، در این پژوهش به ارزیابی عملکرد مدل SWAT در شبیه سازی دبی رودخانه گاماسیاب پرداخته شد. از آنجا که اندازه گیری مستقیم بسیاری از پارامترها در مقیاس حوضه ای مشکل و یا حتی امکان پذیر نیست مدل برای حوضه مورد نظر واسنجی شد و سپس عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش ها

### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

رودخانه گاماسیاب در بخش شمال شرقی حوزه آبریز کرخه جریان دارد از سراب سنگ سوراخ و چشمه سارهای اطراف نهبوند سرچشمه می گیرد در مسیر این رودخانه رشته های فرعی مختلفی به آن ملحق می شود در جنوب بیستون، شاخه فرعی دینورآب به آن پیوسته و به نام گاماسیاب ادامه مسیر می دهد و در نزدیکی فرامان به رودخانه قره سو متصل شده و پس از آن به نام سیمره وارد خاک لرستان می شود و سپس در استان خوزستان به نام کرخه جریان یافته و وارد هورالعظیم می شود. رودخانه گاماسیاب یکی از سرشاخه های مهم کرخه است و حوضه آبریز آن با مساحتی در حدود ۱۱۶۹۰ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه تا

شد نتایج نشان می دهد مدل SWAT ر سوب سالانه را بهتر از ماهانه پیش بینی می کند همچنین برآورد رسوب در ماه های پربارش با خطای بیشتری همراه است [۱۳]. با استفاده از مدل SWAT شدت جریان و جابجایی رسوب در حوضه گلف ایالت تگزاس آمریکا مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد متوسط شدت جریان ماهانه پیش بینی شده توسط مدل در این تحقیق ۵ درصد بیش از مقادیر اندازه گیری شده بود [۱۰]. عملکرد مدل SWAT از نقطه نظر شبیه سازی فرآیند ذوب برف در حوضه وایدل رایس مورد ارزیابی قرار گرفت و نبود شبیه سازی دقیق دبی های اوج رودخانه را به عملکرد نه چندان مناسب مدل در شبیه سازی ذوب برف به ویژه در حوضه ها و سال های با برف انباشت کمتر نسبت داده اند [۲۹]. در حوضه بهشت آباد کارون شمالی با استفاده از مدل SWAT اقدام به برآورد مقادیر دبی و بار رسوب شد و دریافتند که مدل SWAT در برآورد دبی رودخانه عملکرد مناسبی داشته، اما در شبیه سازی دبی های اوج رودخانه موفقیتی نداشته است. همچنین توانایی مدل در برآورد بار رسوب را در حد متوسط ارزیابی نمود [۲۵]. اثرات طولانی مدت تغییر اقلیم بر متوسط جریان ماهانه در بخشی از حوضه می سی سی پی در آمریکا با استفاده از ۵ ایستگاه هیدرومتری و مدل SWAT مورد بررسی قرار گرفت نتایج کار حاکمی از تغییرات ۶۷ تا ۹۷ درصدی جریان در ۵ ایستگاه منتخب بوده است [۲۳]. نتایج پژوهش، بر روی سیلاب های متوسط و بزرگ در حوضه رودخانه هانگ فوجان<sup>۵</sup> با اقلیم نیمه خشک و حوضه رودخانه جیانگ جی<sup>۶</sup> با اقلیم مرطوب تحت شرایط تغییر اقلیم حاکمی از افزایش دبی میانگین در فصول مختلف و همچنین افزایش دبی اوج بخصوص در فصل بهار است [۳۱]. اثرات تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه دیندر<sup>۷</sup>

<sup>۱</sup>Mississippi

<sup>۲</sup>Huangfuchuan

<sup>۳</sup>Xiangxi

<sup>۴</sup>Dinder

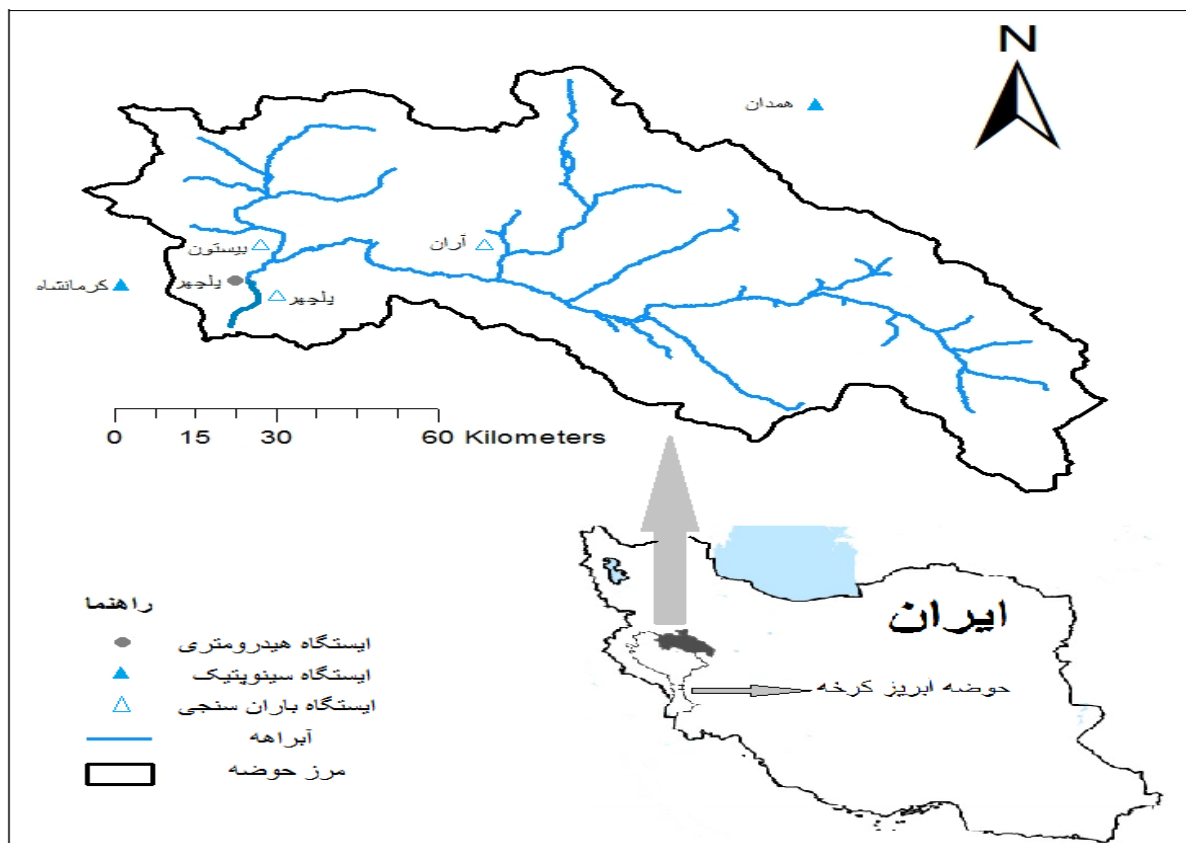
<sup>۵</sup>Gulf

<sup>۶</sup>Wild Rice

<sup>۷</sup>Snow Pack

[۱۷]. شکل ۱ حوضه آبریز گاماسیاب را نشان می‌دهد.

۳۴ درجه و ۸۵ دقیقه شمالی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا در این حوضه بین ۱۲۴۲ تا ۳۵۸۰ متر می‌باشد



شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز گاماسیاب در جنوب غربی کشور، آبراهه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی منطقه.

ArcSwat می‌باشد که به عنوان یک افزونه<sup>۱</sup> در محیط ArcMap از سری نرم افزارهای GIS کار می‌کند. در واقع اطلاعات ورودی به مدل و مراحل مدل‌سازی همه در محیط گرافیکی ArcMap صورت می‌پذیرد. ابتدا برای معرفی حوضه، نقشه توپوگرافی به شکل<sup>۲</sup> DEM به مدل معرفی می‌گردد، سپس مدل با آنالیز این نقشه مسیر جریان در حوضه را مشخص خواهد کرد و تعداد زیر حوضه‌ها و مرز حوضه مشخص خواهد شد بعد از معرفی نقشه رقومی خاک، کاربری اراضی و کلاسه‌بندی شیب حوضه، مدل زیر حوضه‌ها را به تعدادی واحد پاسخ

## ۲.۲. معرفی مدل SWAT

این مدل توسط سرویس تحقیقاتی کشاورزی آمریکا برای ارزیابی تاثیر اقلیم و فعالیت‌های مدیریت اراضی بر روی جریان آب، انتقال رسوب، مواد مغذی و تعادل مواد شیمیایی در حوضه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده با کاربری‌های اراضی، خاک و شرایط مدیریتی مختلف برای دوره‌های زمانی روزانه توسعه یافته است. این مدل دارای اساس فیزیکی و نیمه توزیعی بوده و در حوضه‌های که فاقد آماربرداری منظم هستند قابل استفاده می‌باشد [۲].

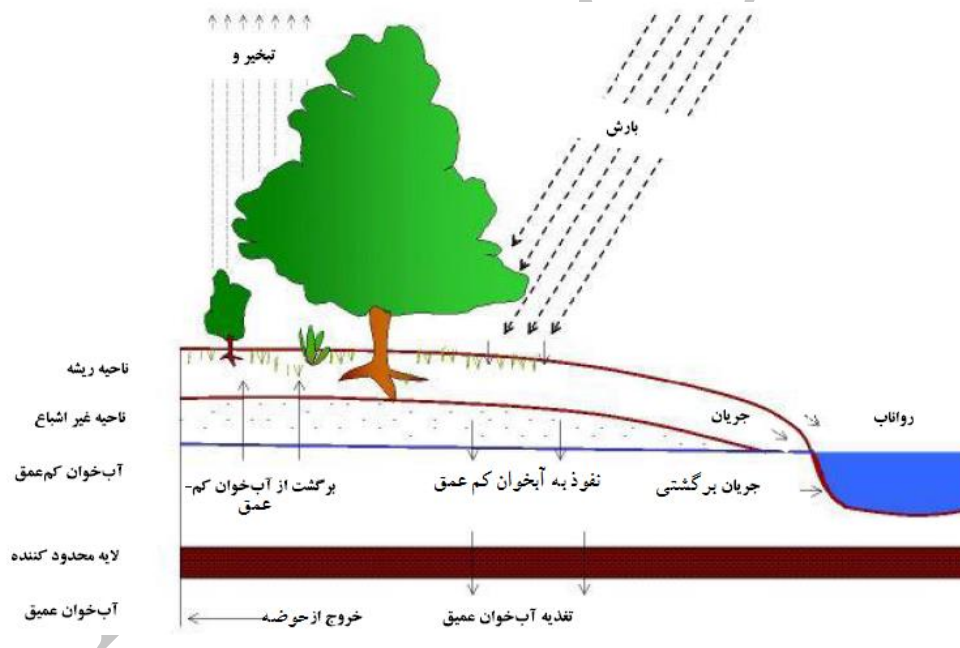
SWAT2012 دارای یک رابط گرافیکی با عنوان

<sup>1</sup>Digital Elevation Model

<sup>2</sup>Extension

شبییه‌سازی چرخه هیدرولوژی در حوزه شامل دو مرحله است: نخستین مرحله فاز زمین<sup>۱</sup> چرخه هیدرولوژی است که کنترل کننده مقدار آب، رسوب، عناصر غذایی و بار آفت‌کش‌ها در آبراهه اصلی در هر زیرحوزه است. مرحله دوم، آب یا فاز روندیابی چرخه هیدرولوژی است که شامل حرکت آب، رسوب و غیره در طول شبکه کانال حوزه تا خروجی آن می‌باشد [۲۱] خصوصیات فیزیکی نظیر شیب، کاربری و داده‌های اقلیمی برای هر زیرحوزه مشخص شده و برای اقلیم هر بخش مدل از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز هر کدام از زیرحوزه استفاده می‌کند [۲] در شکل شماره ۲ مدل مفهومی چرخه هیدرولوژی SWAT نشان داده شده است.

هیدرولوژیکی (HRU) جزءبندی می‌کند و جزئیات مکانی را شبیه‌سازی می‌نماید. واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) واحد اصلی شبیه‌سازی است که به عنوان یک منطقه کلی متشکل از پوشش اراضی، ویژگی‌های همگن خاک و شیب می‌باشد [۲۱]. بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، واحدهای واکنش هیدرولوژیک، تالاب یا اراضی مرطوب، آب زیرزمینی، فرسایش، رشد گیاهان، چرخه عناصر غذایی، آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روندیابی جریان می‌باشد. مدل SWAT برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک (HRU) مقدار آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان را محاسبه می‌کند.



شکل ۲ نمونه شماتیک چرخه هیدرولوژی در مدل SWAT [۲۲]

این اندرکنش‌ها لحاظ نمی‌شود و در هر HRU محاسبات جداگانه انجام شده و مجموع آن در خروجی زیرحوزه انجام می‌شود. سناریوهای مدیریتی نیز در سطح HRU تعریف می‌شود [۲۲]. همانطور که گفته شد برای پی بردن به ویژگی‌های

بیان آب هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی با چهار منبع ذخیره برف، پروفیل خاک (صفر تا ۲ متر)، آب‌خوان کم عمق (معمولاً ۲ تا ۲۰ متر) و آب‌خوان عمیق (بیش از ۲۰ متر) نمایش داده می‌شود. بین زیرحوزه‌ها واکنش رواناب و بار رسوب و مواد مغذی لحاظ می‌شود اما در HRUها

مختلفی قابل سنجش می‌باشد. در این تحقیق از ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و PBIAS استفاده شد. ضریب NS، ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد مقدار این ضریب بین یک تا منفی بینهایت متغیر می‌باشد. بهترین مقدار آن یک است [۱۴]. مقادیر  $0.75 > NS$  یعنی نتایج شبیه‌سازی خوب، بین  $0.36/0.75 -$  بمعنی رضایت‌بخش بودن نتایج است [۱۸]. ضریب تبیین  $R^2$  نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است، چنانچه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند مقدار  $R^2$  برابر با یک می‌باشد بنابراین مقادیر  $R^2$  نزدیک به یک حاکی از عملکرد خوب مدل است [۱۵].

PBIAS درصد تفاوت بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی می‌باشد که در واقع تخمینی از میزان انحراف معیار مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهده‌ای را نشان می‌دهد مقادیر PBIAS نزدیک به صفر نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل است [۱۸]. مقادیر PBIAS مابین  $0.25 +$  تا  $0.25 -$  رضایت‌بخش در نظر گرفته می‌شود [۱۹، ۲۰].

در این مطالعه داده‌های اندازه‌گیری شده دبی روزانه در طول سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۵ میلادی در ایستگاه هیدرومتری پل‌چهر مورد استفاده قرار گرفت اطلاعات بارش از سه ایستگاه باران سنجی آران، پل‌چهر، بیستون و دو ایستگاه سینوپتیک همدان و کرمانشاه مربوط به سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۵ میلادی تهیه شد برای همین دوره زمانی اطلاعات دما نیز از دو ایستگاه سینوپتیک همدان و کرمانشاه بدست آمد. موقعیت کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی مورد استفاده در شکل ۱ آمده است. همچنین دوره زمانی ۱۹۷۷-۱۹۹۵ و ۲۰۰۵-۱۹۹۶ میلادی بر اساس گام زمانی روزانه به ترتیب برای

توپوگرافی حوضه از نقشه DEM استفاده می‌گردد مواردی مانند مساحت، شیب و طول شیب زیرحوضه‌ها و تعداد زیر حوضه‌ها همچنین مسیر، طول و شیب آبراهه‌ها از آن به دست می‌آید. در این تحقیق از نقشه DEM با دقت سلولی ۵۰ متر در ۵۰ سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد همچنین از لایه‌های اطلاعاتی نقشه کاربری اراضی با دقت مکانی ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ تهیه شده توسط USGS و نقشه خاک با دقت مکانی ۱۰۰۰۰ متر در ۱۰۰۰۰ متر تهیه شده توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) استفاده گردید.

بهینه‌سازی پارامترها و آنالیز عدم قطعیت مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI2 در برنامه SWAT-CUP انجام شد. در برنامه SUFI2 یک دامنه عدم قطعیت برای هر پارامتر در نظر گرفته می‌شود که در هنگام واسنجی سعی می‌شود پارامترها در این محدوده قرار گیرند که به آن دامنه عدم قطعیت ۹۵ درصد (95PPU) می‌گویند [۲۴، ۳] برای کمی کردن میزان دقت واسنجی یا عدم قطعیت دو شاخص R و P مورد استفاده قرار می‌گیرد R-factor برابر است با ضخامت باند 95PPU تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده که هر چه به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب‌تر می‌باشد مقادیر کوچک‌تر از ۱/۵ بسته به شرایط قابل قبول است [۴، ۲]. P-factor نشان‌دهنده این است که چه مقدار از داده‌های مشاهداتی در محدوده عدم قطعیت (95PPU) قرار گرفته‌اند و نزدیک بودن این عدد به یک نشان‌دهنده نتیجه بهتری می‌باشد. مقادیر بزرگتر از ۰.۷۰ یا ۰.۷۵ قابل قبول می‌باشد [۵، ۲]. مقادیر بالای P-factor همراه با مقادیر بالای R-factor بدست می‌آید بنابراین باید یک تعادل بین این مقادیر بوجود آید که هر دو در محدوده قابل قبول قرار گیرند و هر دو فاکتور با هم در نظر گرفته می‌شود [۵].

ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی دبی با معیارهای

95% Prediction Uncertainty

این حوضه‌ها مناسب نیست [۳۳]. با توجه به شکل ۴ مشکلاتی در شبیه‌سازی اولیه این مدل دیده می‌شود که شامل ۱- برآورد کم دبی اوج ۲- در بعضی موارد برآورد بیش از حد دبی اوج ۳- برآورد کم دبی پایه و ۴- شیفت زمانی در برآورد دبی است.

بنا به توصیه محققان قبل از واسنجی نهایی مدل SWAT توسط الگوریتم SUFI2 باید نتایج شبیه‌سازی مدل SWAT تا حدودی قابل قبول باشد و اختلاف زیادی با داده‌های مشاهداتی نداشته باشد [۵] برای فائق آمدن بر این مشکلات باید پارامترهای موثر در بروز آن شناسایی و با تغییرات آنها به بهبود شبیه‌سازی پرداخت. با توجه به تحقیقات قبلی در زمینه واسنجی مدل SWAT، پارامترهای توصیه شده جهت واسنجی انتخاب شد [۵، ۸]. بعد از واسنجی اولیه مدل SWAT نتایج ضرایب کارایی نش-ساتکلیف، ضریب تبیین به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۷۵ و PBIAS ۳۲/۱- در صد بدست آمد. برای واسنجی نهایی از الگوریتم SUFI2 استفاده شد. در الگوریتم SUFI2 با انجام سه تکرار<sup>۱</sup> که هر کدام شامل ۶۰۰ شبیه‌سازی بود پارامترهایی که بیشترین تاثیر در نتایج شبیه‌سازی داشتند انتخاب و مقادیر بهینه آنها بدست آمد. جدول شماره ۱ مقادیر بهینه بدست آمده برای پارامترها را در مرحله واسنجی توسط برنامه SUFI2 نشان می‌دهد.

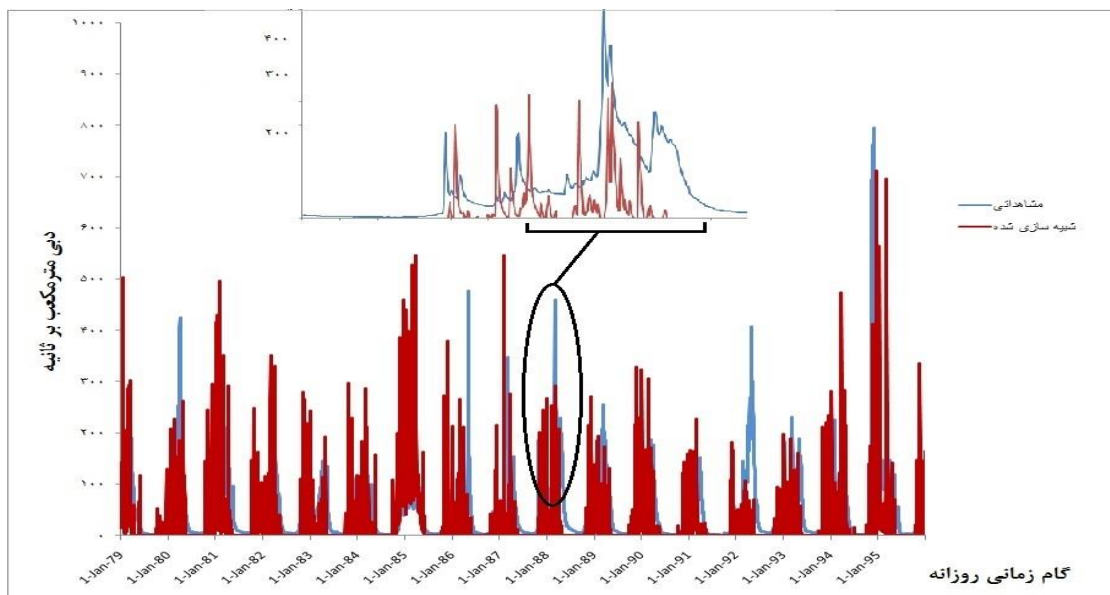
واسنجی و اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. برای متعادل شدن مدل با شرایط محیطی دو سال اول نیز برای گرم کردن مدل اختصاص یافت.

### ۳. نتایج

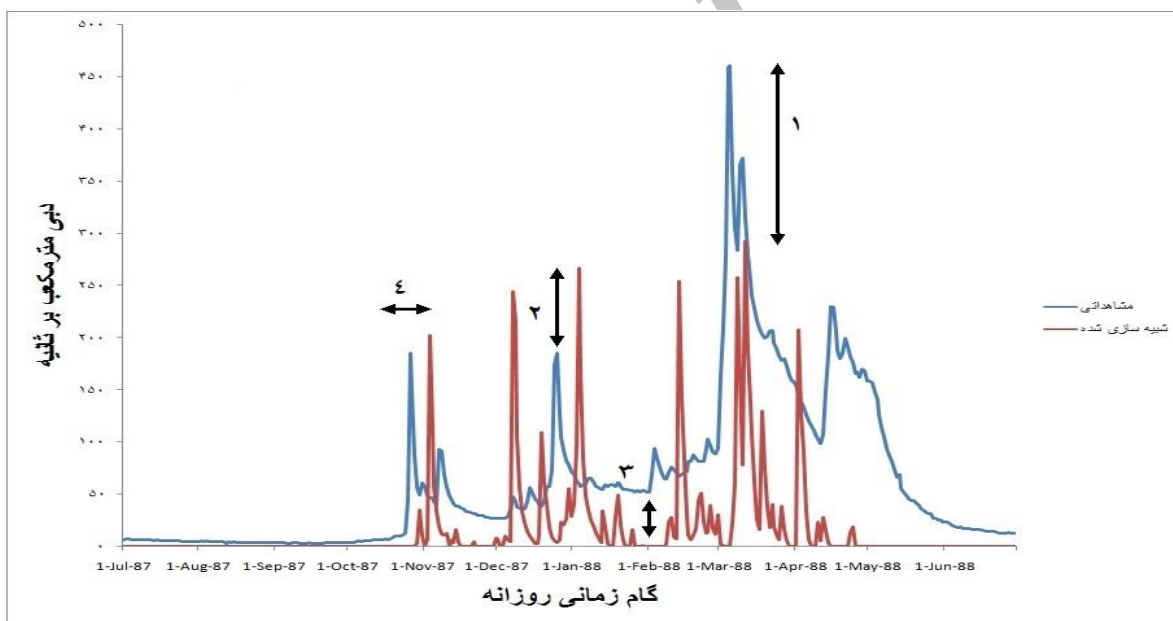
مدل SWAT بر اساس مقادیر دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری پل چهر برای کل حوضه واسنجی شد برای انجام آنالیز حساسیت و ارزیابی مدل نیز از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. طول دوره آماری داده‌ها از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۵ میلادی بود ۲ سال اول را برای گرم کردن مدل، از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۵ میلادی برای واسنجی و از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ میلادی برای اعتبارسنجی استفاده شد. بعد از اجرای مدل SWAT نتایج اولیه رضایت‌بخش نبود ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و PBIAS به ترتیب با ۰/۸۵-، ۰/۰۴ و ۵۸/-% بدست آمد. شکل ۳ نتایج اولیه شبیه‌سازی مدل SWAT را نشان می‌دهد.

مدل SWAT برای شبیه‌سازی مناسب بارش-رواناب نیاز به اطلاعات دقیق از جمله نقشه خاک، کاربری اراضی، نقشه توپوگرافی و داده‌های بارش و دما دارد معمولاً در کشور ما برای همه حوضه‌ها این اطلاعات با دقت کافی موجود نمی‌باشد در نتیجه شبیه‌سازی اولیه این مدل در

<sup>1</sup> Warm up



شکل ۳. نتایج اولیه شبیه سازی بارش-رواناب توسط مدل SWAT در ایستگاه پلچهر



شکل ۴. مشکلاتی که در شبیه سازی اولیه بارش-رواناب توسط مدل SWAT مشاهده می گردد

جدول ۱. مقادیر بهینه بدست آمده برای پارامترهای موثر در مرحله واسنجی

پارامتر	تعریف پارامتر	مقدار بهینه
V*- CH_K2	هدایت هیدرولیکی موثر در کانال اصلی (میلیمتر بر ساعت)	۶/۲۵

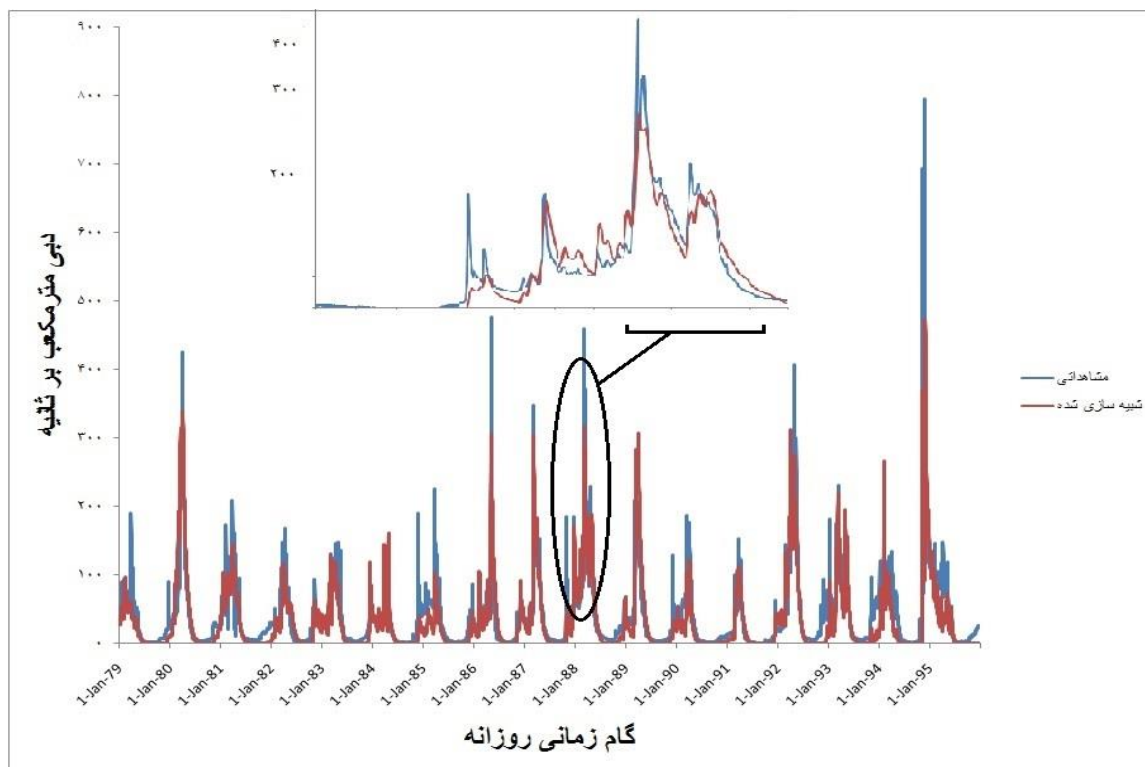


۰/۱۳	ضریب مانینگ کانال اصلی	V-CH_N2
۰/۰۴۵	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق یا صعود موئینگی از سفره آب کم عمق	V-GW_REVAP
-۰/۱۴	شماره منحنی در روش SCS	R-CN2
۰/۱۱	ظرفیت آب قابل دسترس لایه خاک (میلیمتر آب در متر خاک)	R-SOL_AWC
۳۶/۵	زمان رسیدن آب از آخرین لایه خاک به سفره آب زیرزمینی (روز)	V-GW_DELAY
۰/۹۴	فاکتور تبخیر آب از خاک	V-ESCO
۰/۷۵	ضریب آلفا آب زیرزمینی (روز)	V - ALPHA_BF
۶۷۳	حداقل ذخیره آب زیرزمینی برای رخ دادن "REVAP" (میلیمتر)	V - REVAPMN
۳/۶	دمای توده برف هنگامی که ذوب برف آغاز می‌گردد (درجه سانتی‌گراد)	V - SMTMP

\* پیشوند V در پارامترها به معنای جایگزینی پارامتر با مقدار جدید و پیشوند R به معنای حاصل جمع مقدار تغییر با یک و ضرب در مقدار پارامتر اولیه می‌باشد.

اعتبارسنجی ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) به ترتیب برابر با ۰/۵۷، ۰/۶۱ و PBIAS و R-factor و P-factor در صد به دست آمد. مقادیر R-factor و P-factor برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۱ و ۱/۳۴ محاسبه گردید. خلاصه نتایج ضرایب کارایی در دوره واسنجی در جدول ۲ آمده است این نتایج دلالت بر توانایی مدل SWAT در شبیه سازی دبی حوضه دارد و کارایی مدل بر اساس شاخص کیفی ارائه شده در تحقیقات پیشین خوب ارزیابی می‌شود [۲، ۱۹]. نتایج شبیه سازی مدل SWAT در دوره اعتبارسنجی در شکل ۶ ارائه شده است.

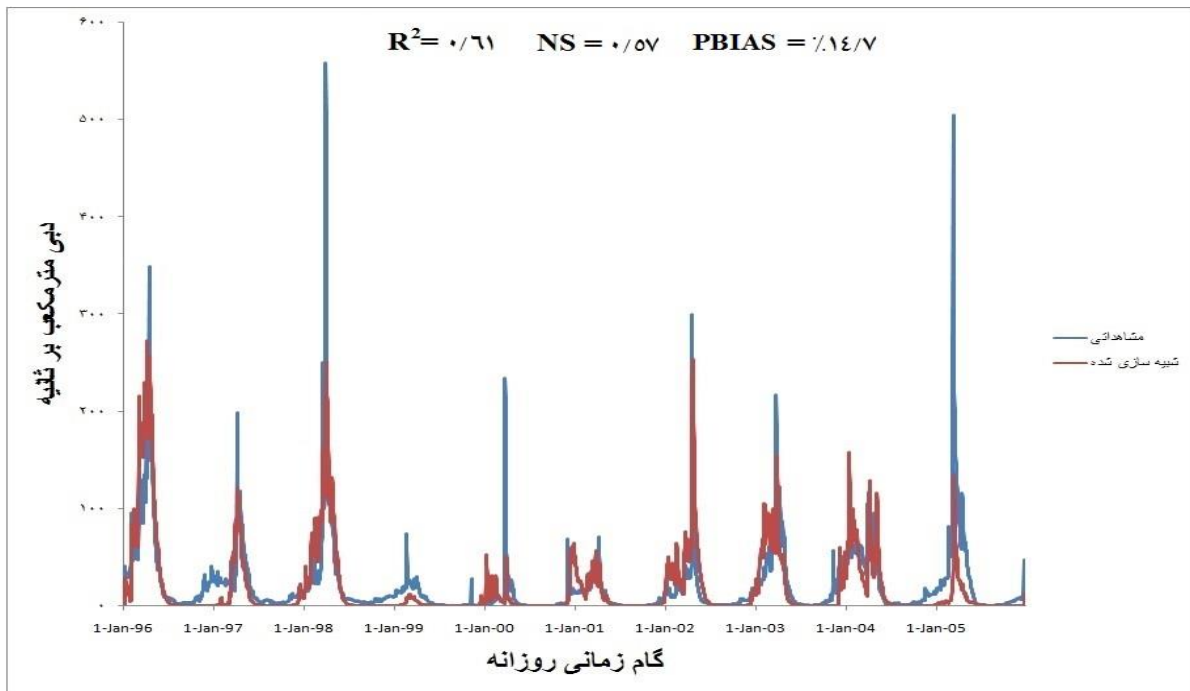
بعد از اعمال پارامترهای بهینه شده ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NS)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) به ترتیب برابر با ۰/۷۳، ۰/۷۱ و PBIAS ۳/۷ در صد به دست آمد شکل ۵ نتایج نهایی واسنجی مدل SWAT را در ایستگاه هیدرومتری پلچهر نشان می‌دهد. برای انجام آنالیز عدم قطعیت از باندهای ۹۵ درصد و فاکتور P و R استفاده شد. مقادیر R-factor و P-factor برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۷۹ و ۱/۳۶ محاسبه گردید که در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرد [۵]. از سال ۱۹۹۶ میلادی تا پایان سال ۲۰۰۵ میلادی برای اعتبارسنجی<sup>۱</sup> مدل SWAT استفاده شد برای دوره



شکل ۵ نتایج نهایی واسنجی مدل SWAT را در ایستگاه هیدرومتری پلچهر

جدول ۲ نتایج ضرایب کارایی مدل SWAT در مرحله واسنجی

معیار	مقادیر قابل قبول	نتایج اولیه مدل	نتایج اولیه واسنجی	نتایج نهایی واسنجی با الگوریتم sufi2
$R^2$	$0.5 <$	$0.04$	$0.75$	$0.73$
NS	$0.5 <$	$-0.85$	$0.43$	$0.71$
PBIAS	$-25\% < PBIAS < 25\%$	$-58\%$	$32\%$	$3\%/7$



شکل ۶. نتایج دوره اعتبارسنجی واسنجی مدل SWAT را در ایستگاه هیدرومتری پلچهر

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج واسنجی مدل نشان از همبستگی مناسب داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده‌ای رودخانه گاماسیاب در ایستگاه هیدرومتری پلچهر دارد با مراجعه به شکل ۵ مشخص می‌شود روند شبیه‌سازی مدل با مقادیر مشاهده‌ای همخوانی دارد و انطباق خوبی در بیشتر نقاط دارد ولی مدل در برآورد دبی اوج بخصوص در فصل بهار با مشکل مواجه می‌شود و تخمین کمتر از مقدار واقعی ارائه می‌کند پژوهشگران دیگر نیز به این ضعف مدل اشاره کرده‌اند [۲۵، ۱۲، ۲۷]. مهمترین علت آن، ضعف مدل در شبیه‌سازی فرآیند ذوب برف عنوان می‌شود [۲۹، ۳۲]. در حوضه‌های کوهستانی این ضعف اهمیت بیشتری دارد با توجه به کوهستانی بودن حوضه گاماسیاب عدم تطابق در برآورد دبی اوج را می‌توان به ضعف مدل در شبیه‌سازی مناسب فرآیند ذوب برف نسبت داد. بیشتر دبی‌های اوج که مدل قادر به

شبیه‌سازی مناسب آن نبوده است در فصل بهار اتفاق افتاده است. مدل SWAT، بارش را با استفاده از متوسط دمای روزانه به صورت باران و برف تقسیم‌بندی می‌کند [۳۰] با توجه به برآورد کمتر از مقدار مشاهده‌ای دبی اوج در فصل بهار می‌توان نتیجه گرفت مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی مناسب ذوب برف در فصل بهار نیست [۳۰]. از دیگر دلایل بروز چنین مشکلی مربوط به عدم دقت کافی داده‌های ورودی نظیر نقشه رقومی خاک، کاربری اراضی، نقشه رقومی ارتفاعی و همچنین کمبود ایستگاه‌های هواشناسی و معرف نبودن آنها برای کل حوضه دانست. در این رابطه دیگر محققان نیز بر دقت داده‌های ورودی، واقعی بودن داده‌ها و بازه تغییرات آنها برای بهبود شبیه‌سازی توسط مدل SWAT تاکید دارند [۸، ۲۶]. کیفیت برازش مدل در دوره اعتبارسنجی نسبت به دوره واسنجی کاهش یافته است (شکل ۶) دلایل ذکر شده در مورد ضعف مدل SWAT در دوره اعتبارسنجی با

عدم توانایی کافی در شبیه سازی فرآیند ذوب برف است که متعاقب آن دبی های اوج که در فصل بهار اتفاق می افتد و ذوب برف هم در آن دخیل است به خوبی شبیه سازی نمی کند. در مجموع مدل SWAT ابزاری مناسب برای محققان و پژوهشگران است تا سناریوهای مختلف مدیریتی را در زمان کوتاه و هزینه کم مورد بررسی قرار دهند و تصمیم مناسبی در جهت مدیریت بهتر اتخاذ نمایند. پیشنهاد می گردد در پژوهش های آینده با استفاده از مدل SWAT اثرات تغییر کاربری اراضی همراه با سناریوهای تغییر اقلیم بر جریان حوضه گاماسیاب بررسی گردد.

شدت بیشتری مشاهده می شود علت را می توان در شرایط دوره واسنجی و اعتبارسنجی یافت میانگین دبی کل دوره مشاهداتی حدود ۳۴ مترمکعب بر ثانیه است در حالیکه میانگین دبی مشاهداتی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۳۹/۹ و ۲۱/۴ مترمکعب بر ثانیه بوده است که نشان می دهد مدل SWAT در شرایط پر آبی مورد واسنجی قرار گرفته است و در شرایط کم آبی اعتبارسنجی شده است در نتیجه تحت این شرایط از دقت شبیه سازی مدل کاسته می شود در این زمینه نتایج مشابهی در حوضه آبریز رودخانه زاینده رود به دست آمده است [۱].

نتایج نشان از توانایی قابل قبول مدل SWAT در شبیه سازی رواناب حوضه گاماسیاب دارد ضعف عمده آن

## References

- [1] Ababei, B., and Sohrabi, T. (2009). Assessing the performance of SWAT model in Zayandeh Rud watershed. *Juarnal of Water and Soil Conservation*. 16(3) (In Persian)
- [2] Abbaspour, K. C. (2007). User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Eawag: Swiss Fed. Inst. Of Aquat. Sci. and Technol. Du'bendorf, Switzerland
- [3] Abbaspour, K. C. (2011). Swat-Cup2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs Manual Version 2, Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland.
- [4] Abbaspour, K. C., Johnson, C. A., and Van Genuchten, M. Th. (2004). Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone*, 3, 1340-1352.
- [5] Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., and Klove, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*. 524, 733–752
- [6] 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.
- [7] Arnold, J.G., Fontaine, T.A., Cruickshank, T.S., and Hotchkiss, R.H. (2002). Development of Snowfall-Snowmelt Routine for Mountainous Terrain for the soil water assessment tool (SWAT). *Journal of Hydrology* 262, 209-223
- [8] Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M., Srinivasan, J., Santhi, R. C., Harmel, R. D., van Griensven, A., Van Liew, M., Kannan, W. N., and Jha, M. K. (2012). SWAT: MODEL USE, CALIBRATION, AND VALIDATION. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* . 55(4): 1491-1508
- [9] Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., and Williams, J.R. (1998). Large Area Hydrological Modeling Assessment. *Journal of the American Water Resources Association* 34 (1).

- [10] Arnold, J.G., Srinivasan, R., Ramanarayanan, T.S., and Diluzio, M. (1999). Waterresources of the Texas gulf basin. *Water Sci. Tech.* 39(3). 121-133.
- [11] Basheer, A., Lu, K., Haishen, O., Abubaker, A., Abubaker, B., and Abdeldime, A. (2016). Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on the stream flow in the Dinder River and ecosystem habitats in Dinder National Park, Sudan. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 1331–1353
- [12] Chu, T., Shirmohammadi, A., Montas, H., and Sohrabi, T. (2002). Modeling watershed nonpoint source pollution on piedmont physiographic region using SWAT. ASAE Meeting paper No: 022040.
- [13] Chu, T., Shirmohammadi A., Montas, H., and Sadeghi, A. (2004). Evaluation of the SWAT model's sediment and nutrient component in the Piedmont Physiographic Region of Maryland. *Transactions of the ASAE*, 47, 1523-1538.
- [14] Donizete dos R., Pereiraa, Mauro A., Martinezb, Fernando F., Pruskib, D., and da Silvaba I. (2016). Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 7, 14–37
- [15] Guzha, A.C., and Hardy, T.B. (2010). Application ofthe Distributed Hydrological Model, TOPNET, to the big darby Creekwatershed, Ohio, USA. *Water Resource Management*, 24, 979-1003.
- [16] Hosseini, M., Ghafoori, S.M., Sovm, M.A., Ghazali, A., and Mohammadsharif, A. (2010). Calibration and Validation of SWAT Model in Taleghan Watershed. 6thnational conference on watershed science and engineering and 4th national conference on erosion and sediment, Tarbiat Modarres University.
- [17] Jeirani, F., Morid, S., and Moridi, A. (2011). Impact of DEM cell size on calibration and predictions of runoff and sediment, using SWAT-CU P. *Juarnal of Water and Soil Conservation*. 18(4).(In Persian)
- [18] Kepner, W.G., Hernandez, M., Semmens, D.J., and Goodrich, D.C. (2008). The Use of Scenario Analysis to Assess Future Landscape Change on Watershed Condition in the Pacific Northwest (USA). *Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security*, 237-261.
- [19] Moriasi, D., Arnold, J.G., Van Liew, M., W. Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASAE*, 50(3), 885-900
- [20] Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K., and Rodhe, A. (1999). Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Agric. For.Meteorol.* 98-99, 257–277.
- [21] Neitsch, S.L., Arnold J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. (2005) .Soil and water assessment tool theoretical documentation:Version 2005.
- [22] Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas.
- [23] Parajuli, P.B. (2010). Assessing sensitivity of hydrologic responses to climate change from forested watershed in Mississippi, *Hydrological process* 24, 3785-3797
- [24] Rouholahnejad, E., Abbaspour, K.C., Vejdani, M., Srinivasan, R., Schulin, R., and Lehmann, A. (2012). Parallelization framework for calibration of hydrological models.*Environ. Modell. Software* 31, 28–36.
- [25] Rostamin, R., Mousavi, S. F., Heidarpoor, M., Aphiuni, M., and Abbaspour, K. (2009). Application of SWAT2000 Model in Estimating Runoff and Sediment in Beheshtabad Basin in North Caron. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 12 (46) (In Persian)
- [26] Schuol, J., Abbaspour, K. C., Srinivasan, R., and Yang, H. (2008). Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. *Journal of Hydrology* 352, 30– 49
- [27] Spruill, C.A., Workman, S.R., and Taraba, J.L. (2000). Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model.*Trans. ASAE* 43(6), 1431-1439.
- [28] Van Liew, M.W., and Garbrecht, J. (2003). Hydrologic simulation of the Little Washita River experimental watershed using SWAT. *Journal of the American Water Resources Association* 39, 413-426.

- [29] Wang, X., and Melesse, A.M. (2005). Evaluation of the SWAT model's snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed. Transactions of the ASAE. 48(4), 1-18.
- [30] Watson, B. M., Ghafouri, M., and Selvalingam, S. (2003). Application of SWAT to model the water balance of the Woody Yaloak river catchment. 2nd International SWAT Conference Proceeding. Bari Italy. July, 1-4
- [31] Xu, H., and Luo, Y. (2015). Climate change and its impacts on river discharge in two climate regions in China. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 4609-4618
- [32] Yang, Q., Meng, F., Zhao, Z., Chow, T. L., Benoy, G., Rees, H. W., and Bourque, C. P. (2009). Assessing the impact of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model. Agriculture, Ecosystems and Environment, 132, 23-31
- [33] Zahabian, B., Goodarzi, M. R., and Massah Bavani, A. (2010). Application of SWAT model for estimating runoff in future periods affected by climate change. Climatologically Researches. 1(3-4), 45 - 60. (In Persian)

Archive of SID

Archive of SID