



ارزیابی کارایی مدل *SWAT* در تخمین رواناب سطحی حوزه آبخیز کچیک استان گلستان

• عطاءاله کاویان

دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول)

• مرضیه بهرامی

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

• حامد روحانی

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: آذر ماه ۱۳۹۱

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۱۵۱۲۴۴۳۲۷۵

Email: a.kavian@sanru.ac.ir

چکیده

قابلیت یک مدل آبخیز برای پیش‌بینی شایسته جریان آبراهه برای کاربردی ویژه، از طریق آنالیز حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی ارزیابی می‌گردد. در این مطالعه مدل *SWAT* برای شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز کچیک با مساحت ۳۶۰۰ هکتار در استان گلستان صورت گرفته است. بدین منظور ابتدا آنالیز حساسیت با استفاده از مدل *SWAT2009* به علت در دسترس بودن ابزار آنالیز حساسیت در مدل انجام گرفت. نتایج نشان داد پارامتر ارتفاع آستانه آب در اکیفر سطحی که نیازمند است تا برگشت آب صورت پذیرد (*GWQMN*)، شماره منحنی (*CN2*)، جبران تبخیر از خاک (*ESCO*)، ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک (*SOL_AWC*) و هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع (*SOL_K*) به ترتیب جزء مهمترین فاکتورهای کنترل‌کننده دبی جریان در حوزه آبخیز مورد مطالعه می‌باشند. در مرحله دوم، ارزیابی عملکرد مدل *SWAT2009* از طریق واسنجی و اعتبارسنجی انجام گرفت. سال ۲۰۰۴ به‌عنوان دوره واسنجی و سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ به‌عنوان دوره اعتبارسنجی تعیین گردید. نتایج ارزیابی کارایی مدل نشان داد ضریب تبیین در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۷۱ و ۰/۷۵ و ضریب نش-ساتکلایف برابر ۰/۷ و ۰/۷۱ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل *SWAT* می‌تواند رواناب سطحی را با دقت بالایی پیش‌بینی نماید.

کلمات کلیدی: آنالیز حساسیت، اعتبارسنجی، رواناب، مدل سازی، واسنجی.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 103 pp: 22-32

Performance Evaluation of SWAT Model to estimate surface runoff in Kachik Watershed, Golestan Province

By: A. Kavian, Associated Professor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. (Corresponding Author; Tel: +98151-2443275). M. Bahrami, MSc Graduated in Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. H. Rouhani, Assistant Professor, College of Natural Resources, University of Gonbad.

The ability of a watershed model to predict the channel flow, appropriately, for particular applications will be assessed by calibration, validation and sensitivity analysis. In this study SWAT model was applied to simulate runoff in the Kachik watershed with an area about 3600 hectares in Golestan province. For doing this purpose, the sensitivity analysis using sensitivity analysis tool SWAT2009 were performed due to availability of this tool in model software. Results showed that threshold height of water in the shallow water table that needs to be done back (GWQMN), curve number (CN2), soil evaporation compensation (ESCO), available water capacity of the soil layer (SOL_AWC), soil hydraulic conductivity at saturation (SOL_K) were most important factors controlling the flow rate in the studied watershed. Secondly, SWAT2009 model performance evaluation through the calibration and validation was performed. Data 2004 was selected as calibration period and 2005 and 2006 were determined as validation period. The results of model evaluation have illustrated that determination coefficient of calibration and validation periods are 0.71 and 0.75 and coefficient of Nash-Sutckliet are 0.70 and 0.71. So we can conclude that the SWAT model can predict surface runoff with high precision.

Keywords: Sensitivity analysis, validation, runoff, modeling, calibration.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، مدل‌های هیدرولوژیکی به طور وسیعی توسط هیدرولوژیست‌ها و مدیران منابع آب به عنوان ابزاری به منظور آنالیز سیستم‌های مدیریت منابع آبی به کار برده می‌شود. معمولاً مدل‌های هیدرولوژیکی شامل تعداد زیادی از پارامترهایی است که برای بررسی رواناب سطحی و زیرسطحی، آب زیرزمینی، عمق نفوذ، تبخیر و تعرق، خصوصیات خاک، کاربری اراضی، بارندگی (گوپتا و سروشیان، ۱۹۹۶) استفاده می‌شود. توسعه این نوع مدل‌ها نیازمند داده‌های مشاهده‌ای کافی در سری‌های زمانی و عملیات میدانی است که اغلب در کشورهای در حال توسعه دردسترس نمی‌باشد (نومبا و همکاران، ۲۰۰۸). کمبود اطلاعات منابع آبی به ویژه در مطالعات کیفی بسیار مهم است (عیسی و جیمو، ۲۰۱۰).

باتوجه به شرایط موجود در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور از لحاظ کمبود آمار، و پیچیدگی زیاد اکوسیستم‌های هیدرولوژیکی و عدم امکان شناخت کامل آنها استفاده از روش‌هایی که بتوان به کمک آنها میزان رواناب حاصل از بارندگی را در حوزه‌های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص تخمین زد، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (نام درست، ۱۳۸۱؛ نجفی، ۱۳۸۱). یکی از این روش‌ها، استفاده از قابلیت‌های مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی است که از اولین مراحل اقدامات مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و نیز بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییر کاربری اراضی و نحوه بهره‌برداری از منابع طبیعی در یک حوزه آبخیز می‌باشد که در حوزه‌های دارای آمار کامل می‌توان فرایندهای هیدرولوژیکی از قبیل رواناب را شبیه‌سازی کرده و با کمترین هزینه و حداقل زمان برای برآورد میزان رواناب در حوزه‌های مشابه با حوزه مورد مطالعه و فاقد آمار

یا دارای آمار ناقص به کار برد (نام درست، ۱۳۸۱). مدل *SWAT* (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۸) یک مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی-فیزیکی می‌باشد که قادر به شبیه‌سازی اغلب فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوزه می‌باشد که برای ارزیابی مدیریت منابع آب (گاسمن و همکاران، ۲۰۰۷) استفاده می‌شود.

عباس‌پور و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل *SWAT* برای شبیه‌سازی تمام فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه غذایی در حوزه تور کشور سوئیس نتایج بسیار خوبی برای شبیه‌سازی رواناب و نترات و نتایج به نسبت خوبی برای شبیه‌سازی دو هفته یک بار رسوب و کل فسفر به دست آوردند. آبابایی و سهرابی (۱۳۸۸) ارزیابی عملکرد مدل *SWAT* را در حوزه آبریز زاینده‌رود بررسی کردند. در این بررسی ضریب تعیین R^2 بین $72/6-82$ درصد و ضریب نش بین $59/4-79$ درصد به دست آمد. نتایج کلی واسنجی نشان می‌دهد که مدل *SWAT* می‌تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه باشد.

نومبا^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، عملکرد مدل *SWAT* را در حوزه‌هایی با داده‌های کم در تانزانیا بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که مدل *SWAT* می‌تواند در حوضه‌های بدون آمار برای مشخص کردن فاکتورها یا پارامترهای کنترل کننده هیدرولوژیکی حوزه استفاده شود. همچنین نتیجه گرفتند که طول دوره شبیه‌سازی بر نتایج تاثیر گذار است. واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های روزانه نتایج رضایت بخشی را با توجه به ضریب نش-ساتکلیف $54/6$ درصد و 68 درصد به ترتیب نشان داد.

در سال ۱۳۸۸ مرتضی علوی‌نیا و نصیری صالح، با استفاده از مدل *SWAT*، رسوب خروجی از حوزه آبریز رودخانه ابرو در بالادست سد

یا ضریب نش- ساتکلاف میباشد (سانتی و همکاران، ۲۰۰۱؛ گریزی و همکاران، ۲۰۰۳). بعد از تابع هدف برای واسنجی، اعتبارسنجی انجام می‌گیرد. روش‌های اعتبارسنجی مشابه با روش‌های واسنجی است که در آن مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده به منظور تعیین تابع هدف مناسب مقایسه شدند. اگر چه مجموعه داده اندازه‌گیری شده انتخابی برای اعتبارسنجی باید با داده‌ای که برای واسنجی استفاده شده متفاوت باشد و پارامترهای مدل در طی اعتبارسنجی تنظیم نمی‌گردند.

در این مطالعه ابتدا آنالیز حساسیت با استفاده از مدل SWAT2009، به علت در دسترس بودن ابزار آنالیز حساسیت در مدل انجام گرفت. در مرحله دوم، ارزیابی عملکرد مدل SWAT2009 از طریق واسنجی و اعتبارسنجی انجام گرفت. از روش بهینه‌سازی SCE به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT استفاده شد.

هدف این بررسی قابلیت شبیه‌سازی رواناب و ارزیابی مدل SWAT در حوزه کوچک در محل ایستگاه هیدرومتری می‌باشد. بعد از آماده‌سازی داده‌ها، پیاده‌سازی مدل انجام شد. واسنجی و اعتبارسنجی مدل پس از تحلیل حساسیت و تعیین پارامترهای حساس و مهم‌تر بررسی شد و در نهایت مدل به صورت کیفی و کمی مورد ارزیابی قرار گرفت.

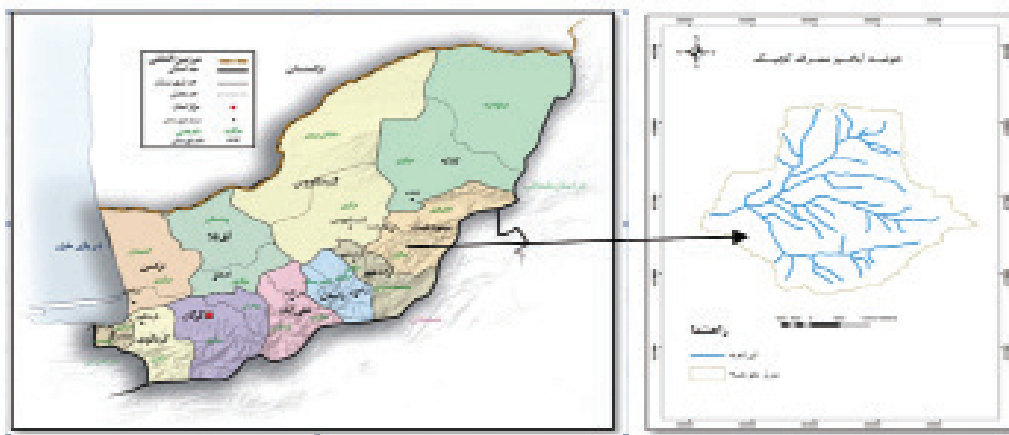
مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کوچک از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی 10° و 52° و 55° تا 52° و 57° و 55° عرض جغرافیایی 15° و 42° و 37° تا 25° و 46° و 37° قرار گرفته که دارای مساحتی در حدود 3600 هکتار می‌باشد (شکل ۱).

اکباتان همدان را شبیه‌سازی کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد مدل SWAT در شبیه‌سازی رسوب دقت مناسبی دارد. حسینی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل SWAT به برآورد رواناب حوزه آبخیز طالقان در دو ایستگاه گلینک (پایین دست حوزه) و جوستان (بالادست حوزه) پرداختند. نتایج مقادیر قابل قبولی را برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی در هر دو ایستگاه نشان می‌دهد. همچنین این مدل برازش نسبتاً خوبی را در ایستگاه گلینک نشان داد. در ایستگاه جوستان (بالادست) به علت ذوب برف و پیچیدگی مولفه آب، مدل دقت نسبتاً کمتری را در مقایسه با ایستگاه گلینک نشان داد.

قابلیت یک مدل آبخیز برای پیش‌بینی شایسته جریان آبراهه برای کاربردی ویژه، از طریق آنالیز حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی ارزیابی می‌گردد. حساسیت به عنوان پاسخ (واکنش) یک متغیر خروجی به تغییر در پارامتر ورودی اندازه‌گیری می‌گردد، هرچه تغییر در واکنش خروجی بزرگتر باشد، حساسیت بیشتری را نشان می‌دهد. پارامترهای تعیین شده در آنالیز حساسیت که بر خروجی‌ها موثر می‌باشند، اغلب به منظور واسنجی مدل استفاده می‌گردند (وایت و کابی، ۲۰۰۵؛ وان گرینسون و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین آنالیز حساسیت به عنوان یک ابزار برای ارزیابی پارامترهای ورودی با توجه به اثر آنها بر خروجی مدل نه تنها برای توسعه مدل مفید می‌باشد، بلکه برای اعتبارسنجی و کاهش عدم قطعیت نیز مفید واقع می‌گردد. روش‌های مختلفی برای انجام آنالیز حساسیت و بیان کردن نتایج آن وجود دارد (بون، ۲۰۰۱؛ وان گرینسون و همکاران، ۲۰۰۶).

واسنجی مدل شامل اصلاحات مقادیر پارامترها و مقایسه خروجی پیش‌بینی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده است تا زمانی که تابع هدف معین به دست آید. به طور کلی تابع هدف برای واسنجی مدل شامل، یک آزمون آماری، مانند حداقل خطای نسبی، حداقل خطای میانگین



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه

از شرق به رشته کوه شلمی، از غرب به محور ارتباطی کلاله - مراوه تپه مربوط است. متوسط بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه 482 میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالانه: $16/7$ درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی سالانه

این حوزه خود زیر حوزه کوچکی از آبخیز قرناوه بوده و قرناوه نیز یکی از زیر حوزه‌های چندگانه حوزه آبخیز گرگانرود محسوب می‌گردد. محدوده جغرافیایی از شمال به ارتفاعات باباشمل، از جنوب به جنگل‌های عنابلی،

در مرحله بعدی به چند واحد پاسخ هیدرولوژی (HRU) تقسیم می‌شود. این واحدها به لحاظ کاربری اراضی و خصوصیات خاک و شیب همگن هستند. برای هر واحد هیدرولوژیک میزان آب، رسوب و چرخه عناصر و تلفات تعیین و برای هر زیر حوزه متوسط وزنی محاسبه می‌شود. سپس این مقادیر در مسیر شبکه رودخانه تا محل خروجی حوزه با هم جمع شده و مقدار نهایی برای حوزه تعیین می‌شود (نیچ و همکاران ۲۰۰۵).

آنالیز حساسیت

روش‌های به کار برده شده برای انجام آنالیز حساسیت می‌تواند در دو گروه بررسی شود: آنالیزهای حساسیت موضعی^۲ و سرتاسری^۱ (وان گرینسون و همکاران، ۲۰۰۶). آنالیز حساسیت موضعی که با روش OAT (یک فاکتور در یک زمان) شناخته شده است، واکنش خروجی‌ها توسط تغییرات متوالی هر پارامتر مدل را مشخص می‌کند، در حالیکه دیگر پارامترها بدون تغییر می‌باشند (اسپیرو و همکاران، ۲۰۰۰؛ هولوت و همکاران، ۲۰۰۵). با اینکه روش OAT^۳ به‌طور وسیع برای مدل‌های گوناگون به علت آسان بودن کاربرد آن استفاده می‌شود، فرض رابطه خطی بین پارامتر و خروجی متناظر از محدودیت‌های اصلی آن است. در مقابل، روش آنالیز حساسیت سرتاسری درون محدوده پارامترها جستجو می‌کند و در این روش تمام پارامترهای تحت بررسی که به طور هم‌زمان تغییر داده می‌شوند، واکنش‌ها و اثراتشان بر خروجی مدل ارزیابی می‌گردد. در این میان می‌توان از روش نمونه برداری لاتین هاپرکوب LH به عنوان روش آنالیز حساسیت سرتاسری نام برد. در مدل SWAT2009 آنالیز حساسیت پارامتر با استفاده از روش ترکیبی نمونه‌برداری لاتین هاپرکوب (LH) و یک فاکتور در یک زمان (OAT)، مدل به یک پارامتر خاص سرتاسر محدوده امکان‌پذیر برای آن پارامتر و سرتاسر تعداد مقادیر مختلفی از دیگر پارامترها در مدل رخ می‌دهد، بر این اساس، آنالیز حساسیت برای ۲۶ پارامتر که ممکن است اثر بالقوه‌ای بر جریان داشته باشند اجرا گردید (جدول ۱). محدوده تغییر این پارامترها بر اساس لیست تهیه شده در راهنمای SWAT2009 است (نیچ و همکاران، ۲۰۰۵) و توسط بررسی یک توزیع یکنواخت نمونه‌برداری شدند. هنگامی که یک پارامتر تغییر می‌کند و اصلاح می‌گردد، دیگر پارامترها تغییری صورت نمی‌گیرد. برای هر پارامتر، تغییرات چندین بار درون محدوده قابل قبول صورت می‌گردد تا حساسیت آن آزمایش شود.

واسنجی و اعتبارسنجی

در این مطالعه، عملکرد مدل SWAT2009 از طریق فرایندهای واسنجی و اعتبارسنجی انجام گردید. واسنجی مدل شامل تنظیمات مقادیر پارامترها مدل برای ایجاد دوباره واکنش مشاهده شده آبخیز کوچک درون محدوده دقت تعیین شده با توجه به معیارهای ارزیابی عملکرد است. در نتیجه، آزمون‌ها برای اعتبارسنجی مدل کالیبره شده که قادر به پیش‌بینی دقیق است انجام می‌گیرد. این فرایند نیاز به مدل کالیبره شده بدون تغییر مقادیر پارامترها دارد تا واکنش را نسبت به یک دوره دیگر متفاوت از دوره واسنجی شبیه‌سازی نماید. گفته می‌شود که مدل اعتبارسنجی می‌شود بدین منظور که آیا قابلیت پیش‌بینی و دقت آن در دوره اعتبارسنجی برای واقع شدن درون محدوده قابل قبول تایید می‌شود؟

۶۳/۸٪، تبخیر و تعرق پتانسیل ۹۶۱ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم حوزه نیز نیمه خشک سرد می‌باشد.

مدل SWAT

SWAT، یک مدل نیمه توزیعی-فیزیکی، طولانی مدت، پیوسته است که برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبریز پیچیده با توجه به تغییرات خاک، کاربری اراضی و شرایط آب و هوایی در دوره‌های زمانی طولانی مدت کاربرد دارد. (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۸). این مدل قابلیت آنالیز داده‌ها در بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را دارا می‌باشد. مدل SWAT دارای یک EXTENSION تحت نرم‌افزار ARCGIS به نام ARCSWAT می‌باشد. در واقع ARCSWAT نرم افزار نمایش گرافیکی مدل SWAT است که قادر است بعد از شبیه‌سازی خروجی‌های مدل را به صورت گرافیکی با جدول نمایش دهد. در مدل SWAT ابتدا از روی DEM، حوزه آبخیز اصلی به تعدادی زیر حوزه تقسیم می‌شود. سپس بر مبنای نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و شیب زیر حوزه‌ها نیز به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌شوند، که به هر کدام از این واحدها یک HRU (واحد هیدرولوژیک) می‌گویند. این واحدها بایستی تا حد امکان از نظر هیدرولوژیکی مشابه باشند. در واقع باید در هر واحد هیدرولوژیکی، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش و کاربری اراضی تغییرات چشمگیری نداشته باشند (نیچ و همکاران، ۲۰۰۵).

در مدل SWAT چرخه هیدرولوژی بر اساس معادله بیلان آب شبیه‌سازی می‌شود:

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

SW_t : مقدار نهایی آب خاک بر حسب میلی‌متر، SW_0 : مقدار اولیه آب خاک بر حسب میلی‌متر، R_{day} : مقدار بارندگی در روز t ام بر حسب میلی‌متر، Q_{surf} : مقدار رواناب در روز t ام بر حسب میلی‌متر، E_a : مقدار تبخیر و تعرق در روز t ام بر حسب میلی‌متر، W_{seep} : مقدار آب نفوذی به لایه فوقانی خاک در روز t ام بر حسب میلی‌متر و Q_{gw} : مقدار جریان برگشتی در روز t ام بر حسب میلی‌متر.

در مدل SWAT دو روش برای تخمین رواناب سطحی وجود دارد: الف) روش شماره منحنی و ب) رابطه نفوذ گرین-امپت (نیچ و همکاران ۲۰۰۵). در این تحقیق مقدار رواناب بر اساس روش پیش‌نهادهی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) که به روش شماره منحنی SCS معروف است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)} \quad (2)$$

Q_{surf} : مقدار رواناب در روز t ام بر حسب میلی‌متر، R_{day} : مقدار بارندگی در روز t ام بر حسب میلی‌متر و S : پارامتر نگهداشت آب در داخل حوزه است که به صورت زیر محاسبه می‌شود: CN: پارامتر خصوصیات حوزه از نظر نفوذپذیری.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

در مدل SWAT هر حوزه در دو مرحله به زیر واحدهایی تقسیم بندی می‌شود. در مرحله اول بر اساس توپوگرافی به چند زیر حوزه تقسیم می‌شود.

جدول ۱- پارامترهای تغییرنمای روش‌های درون‌یابی به کار رفته شده

پارامتر	توصیف	حداقل	حداکثر
ALPHA-BF	ضریب آلفای جریان پایه (شیب خشکیدگی)	۰	۱
Biomix	کارایی اختلاط بیولوژیکی	۰	۱
Blai	شاخص سطح برگ برای محصول	۰	۱
Canmax	ذخیره تاج پوشش	۰	۱۰
Ch-K ₂	قابلیت هدایت هیدرولیکی موثر (mm/hr)	۰	۱۵۰
Ch-N ₂	ضریب مانینگ کانال اصلی	۰	۱
CN ₂	شماره منحنی برای شرایط رطوبتی ۲	-۲۵	۲۵
Epc0	فاکتور گیرش گیاهی	۰	۱
Esco	فاکتور جبران تبخیر خاک	۰	۱
Gw-Delay	تاخیر آب زیرزمینی (روز)	-۱۰	۱۰
Gw_Revap	ضریب revap آب زیرزمینی	-۰/۰۳۶	۰/۰۳۶
Gwqmn	عمق آستانه آب در آبخوان کم عمق مورد نیاز جهت رخ دادن جریان آب برگشتی	-۱۰۰۰	۱۰۰۰
Revapmn	عمق آستانه آب برای در آبخوان کم عمق برای رخ دادن revap	-۱۰۰	۱۰۰
Sftmp	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (C°)	۰	۵
Slope	شیب متوسط زمین در هر (hru (m/m)	-۲۵	۲۵
Slsubsn	طول شیب متوسط	-۲۵	۲۵
Smfmn	فاکتور ذوب برف برای برف در ۲۱ دسامبر (mmH ₂ O/c-day)	۰	۱۰
Smfmx	فاکتور ذوب برف برای برف در ۲۱ ژوئن (mmH ₂ O/c-day)	۰	۱۰
Smfmp	دمای پایه ذوب برف (سانتی‌گراد)	-۲۵	۲۵
Sol_AlB	آلبدو رطوبت خاک	-۲۵	۲۵
Sol_AwC	ظرفیت آب در دسترس لایه خاک	-۲۵	۲۵
Sol_K	هدایت هیدرولیکی اشباع (mm/hr)	-۲۵	۲۵
Sol_Z	عمق از سطح خاک تا لایه زیر (mm)	-۲۵	۲۵
Surlag	تاخیر زمانی رواناب سطحی	۰	۱۰
Timp	فاکتور تاخیر دمایی توده برف	۰	۱
Tlaps	نرخ تغییرات دما با ارتفاع در هر زیر حوزه	۰	۵۰

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{obs}^-)^2} \quad (6)$$

همچنین با توجه به معادله SSQ و ENS میتوان رابطه این دو را به صورت زیر نشان داد:

$$E_{NS} = \left[\frac{SSQ}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{obs}^-)^2} \right] \quad (7)$$

در این رابطه‌ها Q_{obs} دبی روزانه مشاهده‌ای، Q_{sim} دبی روزانه شبیه‌سازی شده، Q_{obs} میانگین دبی روزانه مشاهده‌ای، Q_{sim} میانگین دبی روزانه شبیه‌سازی شده بر حسب متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. ضریب تعیین یک شاخص قوی از رابطه بین مقدار مشاهده‌ای و شبیه‌سازی است. از طرف دیگر، ضریب نش-ساتکلایف چگونگی دقت فرایندهای طبیعی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و محدوده آن از $-\infty$ تا ۱ می‌باشد. علاوه بر این معادله آخری یک رابطه یک به یک را نشان می‌دهد و بنابراین تمام مقادیر تابع هدف مورد استفاده رویکرد پاراسول، تبدیل به ENS برای راحتی مقایسه می‌شوند.

جمع‌آوری اطلاعات و مدل‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در مدل

داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی توسط مدل $SWAT$ شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، کاربری اراضی، داده‌های خاک‌شناسی و اطلاعات هواشناسی و داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل شامل بارندگی، حداقل و حداکثر درجه حرارت، رطوبت نسبی، تشعشع خورشید و سرعت باد بر پایه زمانی روزانه مربوط به ایستگاه‌های داخل و اطراف حوضه می‌باشد. که در این مطالعه تصویر ماهواره‌ای لند ست. ETM^+ سال ۲۰۰۷، نقشه خاک رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و خصوصیات خاک که از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان به دست آمد.

هم‌چنین داده‌های بارندگی روزانه (۲۰۰۳-۲۰۰۷) که از ایستگاه‌های هواشناسی مراوه تپه، آق امام، و از باران سنج‌های ثابت و معمولی آبخیز کچیک از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان جمع‌آوری شده است. هم‌چنین حداقل و حداکثر دمای روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی از ایستگاه سینوپتیک مراوه تپه به دست آمد و علاوه بر این از ایستگاه سینوپتیک مراوه تپه به‌عنوان ایستگاه مولد اقلیمی (ایستگاه مورد استفاده برای بازسازی خلاء آماری) استفاده گردید. داده‌های جریان روزانه ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ برای آبخیز مورد نظر از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان جمع‌آوری گردید.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز حساسیت

حساسیت هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز بر حسب شرایط و ویژگی‌هایشان، در برابر یک پارامتر خاص کاملاً متفاوت است. آنالیز

رویکرد مدل $SWAT2009$ واسنجی شده و اعتبارسنجی شده براساس واسنجی دستی و اتوواسنجی است. هر دو این روش‌ها در نسخه $SWAT2009$ موجود است. رویکرد اتوماتیک بر اساس الگوریتم $Shuffled Complex Evolution$ توسعه یافته در دانشگاه آریزونا ($SCE-UA$) (دان و همکاران، ۱۹۹۲)، که الگوریتم جستجوی سرتاسری برای کاهش یک تابع ساده است. ابزار اتوواسنجی روش $Parameter Solution$ ($ParaSol$) (وان گرینسون و میکسور، ۲۰۰۶) را که توابع هدف (OF) را درون یک معیار بهینه‌سازی سرتاسری (GOC) ترکیب نموده است استفاده می‌کند و سپس این توابع هدف یا GOC را با استفاده از الگوریتم $SCE-UA$ به حداقل می‌رساند. سپس آنالیز عدم قطعیت با یک انتخاب از بین در مفهوم آماری انجام می‌گیرد. یکی از توابع هدف مورد استفاده در $ParaSol$ ، مجموع مربعات باقیمانده (SSQ) می‌باشد که در مقایسه یک سری شبیه‌سازی شده با یک سری مشاهده‌ای هدف‌مند شده است.

$$SSQ = \sum (Q_{obs} - Q_{sim})^2 \quad (4)$$

در واقع، $SCE-UA$ روش جستجوی مستقیم از روش ساده را با مفهوم جستجوی تصادفی کنترل شده، تکامل سیستماتیک نقاط در جهت بهبود سرتاسری، تکامل رقابتی و مفهوم $Complex Shuffling$ ترکیب می‌کند. در مرحله اول (حلقه صفر)، $SCE-UA$ یک جمعیت اولیه توسط نمونه‌برداری تصادفی سرتاسر فضای عملی پارامترها انتخاب می‌کند تا پارامترهای P بهینه‌سازی گردد (توسط محدوده پارامتر معین تعریف شده است). جمعیت درون چندین مجموعه تقسیم بندی می‌شود که شامل $1+2P$ نقطه است. هر مجموعه به طور مستقل با استفاده از الگوریتم ساده توسعه داده می‌شود. مجموعه‌ها به طور دوره‌ای مخلوط می‌شوند تا مجموعه‌های جدید به منظور سهیم قرار دادن اطلاعات بین مجموعه‌ها شکل گیرند.

$SCE-UA$ به طور وسیع در واسنجی مدل آبخیز و دیگر عرصه‌های هیدرولوژی مانند مدل‌سازی فرسایش خاک، هیدرولوژی زیر سطحی، سنجش از دور و رواناب زمینی استفاده می‌شود (دان و همکاران، ۲۰۰۳). $SCE-UA$ مزایایی دارد که به صورت کامپیوتری کار سخت جستجوی فاصیه پارامتر را، سریعتر از دیگر کاربرها انجام می‌دهد و نیاز دارد که عملکرد آن توسط یک تابع هدف مشخص می‌شود. علاوه بر این توسعه روش‌های اتوماتیک اجازه بررسی جزئیات موضوعات تابع جستجوی برای بهینه‌سازی سرتاسری مقادیر پارامترها را در راهی که با استفاده از روش دستی امکان‌پذیر نیست می‌دهد. در طی فرایند واسنجی پارامترهایی که فرایندهای آب سطحی، فرایندهای آب زیر سطحی را کنترل می‌کنند، و پارامترهایی که بر فرایندهای روندیابی تأثیر دارند بر اساس یک نتیجه آنالیز حساسیت بررسی می‌شوند. سرانجام، عملکرد مدل با استفاده از ضریب تعیین (R^2) و ضریب کارایی نش-ساتکلایف (ENS) (نش و ساتکلایف، ۱۹۷۰) بررسی می‌شود. بهینه‌سازی پارامترها بر اساس این معیارهای ارزیابی در گام روزانه انجام گرفت.

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{obs}^-)(Q_{sim} - Q_{sim}^-)}{\left[\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{obs}^-)^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{sim}^-)^2 \right]^{0.5}} \right\} \quad (5)$$

فاکتورهای کنترل کننده دبی جریان در حوزه آبخیز مورد مطالعه می‌باشند. از آنجایی که در این مطالعه از روش شماره منحنی برای محاسبه رواناب استفاده شد، $CN2$ به عنوان حساسترین پارامتر در این طبقه بندی قرار گرفت. پارامترهای جریان پایه ($GWQMN$ ، $ALPHA-BF$)، $GW-DELAY$ و $CH-N2$) در طبقه‌بندی پارامترهایی با حساسیت بالا قرار گرفتند. این مسئله بیانگر این موضوع است که جریان آبراهه توسط تولید آب زیرزمینی نیز تولید می‌گردد. علاوه بر $CN2$ ، دیگر پارامترهای رواناب سطحی ($SOL-AWC$ و $ESCO$) جزء طبقه‌بندی پارامترهایی با حساسیت بالا قرار گرفتند. دیگر پارامتر حساس که در این طبقه‌بندی قرار گرفت مربوط به پارامتر خاک ($SOL-K$) می‌باشد.

حساسیت برای دوره واسنجی و وارمینگ آپ ($warming\ up$) انجام گرفت. ۲۶ پارامتر با ۱۰ فاصله نمونه‌برداری LH و ۲۷۰ تکرار برای انتخاب محدوده این پارامترها انجام گرفت. از میان این ۲۶ پارامتر، ۸ پارامتر به عنوان پارامترهایی با حساسیت بالا بر اساس طبقه‌بندی مدل انتخاب گردید که در جدول ۲ آمده است.

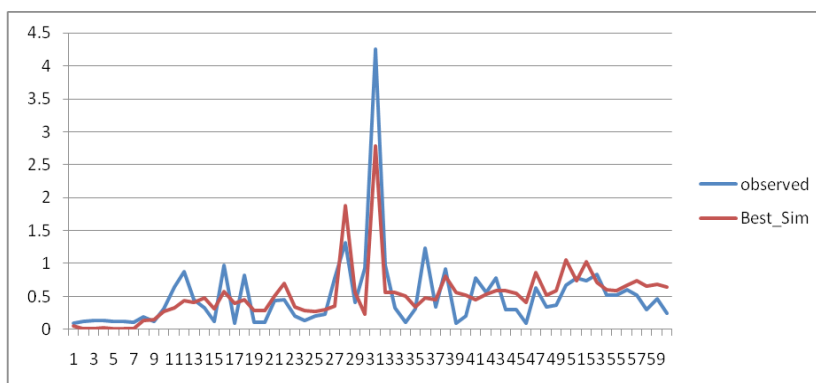
در کل نتایج نشان داد که پارامتر ارتفاع آستانه آب در اکیفر سطحی که نیازمند است تا برگشت آب صورت پذیرد ($GWQMN$) مهمترین فاکتور و پارامترهای شماره منحنی ($CN2$)، جبران تبخیر از خاک ($ESCO$)، ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک (SOL_AWC)، هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع (SOL_K) به ترتیب جزء مهمترین

جدول ۲- ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده و موقعیت جغرافیایی آن‌ها

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	نوع ایستگاه
مراوه تپه	۴۰۶۸۰۷	۴۱۹۵۲۴۹	۴۶۰	سینوپتیک
آق امام	۴۰۷۴۶۲	۴۱۷۵۲۴۷	۱۰۳۴	هیدرومتری
کچیک ذخیره‌ای	۴۰۱۳۰۵	۴۱۷۴۶۴۸	۵۹۴	باران سنجی
کچیک ثبات	۴۰۳۹۸۸	۴۱۷۹۷۴۶	۸۲۸	باران سنجی

جدول ۳- نتایج آنالیز حساسیت پارامترها و طبقه‌بندی آن‌ها

فایل	پارامتر	طبقه	فایل	پارامتر	طبقه
SOL	SOL-K	۵	GW	GWQMN	۱
GW	ALPHA-BF	۶	MGT	CN2	۲
GW	GW- DELAY	۷	HRU	ESCO	۳
GW	CH-N ^۲	۸	SOL	SOL-AWC	۴



شکل ۲- مقادیر رواناب روزانه شبیه سازی شده در دوره واسنجی

جدول ۴ نمایه‌های آماری محاسبه شده‌ی نش _ ساتکلایف و ضریب تعیین را برای دوره واسنجی نشان می‌دهد.

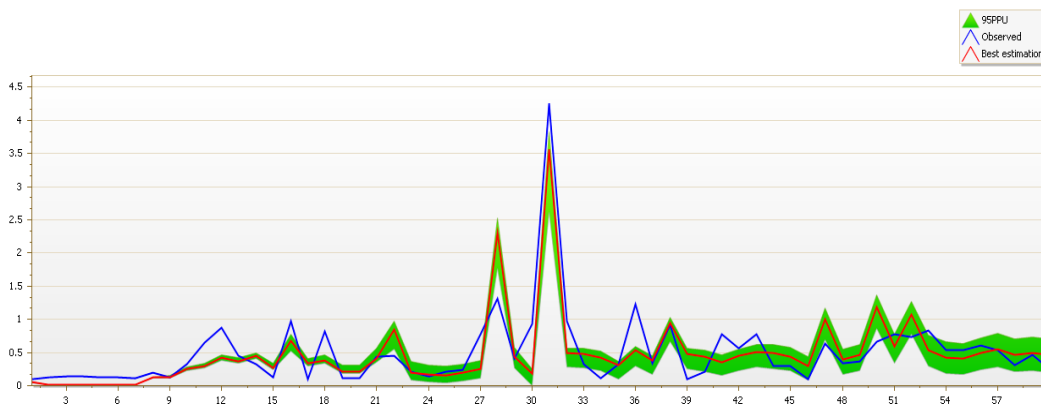
جدول ۴- ضرایب آماری به منظور ارزیابی عملکرد مدل در دوره واسنجی

ضرایب آماری	ضریب تعیین	نش - ساتکلایف	P-FACTOR	R-FACTOR
مقدار	۰/۷۱	۰/۷	۰/۵۱	۰/۵۶
آق امام	۴۰۷۴۶۲	۴۱۷۵۲۶۷	۱۰۳۴	هیدرومتری
کچیک ذخیره‌ای	۴۰۱۳۰۵	۴۱۷۴۶۴۸	۵۹۴	باران سنجی
کچیک ثبات	۴۰۳۹۸۸	۴۱۷۹۷۴۶	۸۲۸	باران سنجی

واسنجی رواناب

هنگامی که پارامترهای حساس مشخص شدند، مرحله بعدی واسنجی و سپس اعتبارسنجی مدل می‌باشد. در واسنجی تلاش بر این است تا خطاهای مدل به حداقل برسد. بنابراین واسنجی شامل اصلاحات مقادیر پارامترهای مدل و مقایسه خروجی پیش بینی شده با داده‌های مشاهده‌ای است تا زمانی که یک تابع هدف مشخص بدست آید. دوره واسنجی سال ۲۰۰۴ است. نتایج واسنجی در شکل (۲) آمده است که نشان می‌دهد که مدل جریان را بسیار خوب شبیه‌سازی نموده است.

بنامن و همکاران (۲۰۰۵) و سانتی و همکاران (۲۰۰۱)، پیشنهاد کردند که شبیه‌سازی مدل می‌تواند رضایت بخش تشخیص داده شود اگر R^2 بیشتر از ۰/۶ و نش_ساتکلایف بیشتر از ۰/۵ باشد. از این رو نتایج ما با این مقادیر مطابقت دارد. *P-FACTOR* که در صد مشاهدات دسته‌بندی شده توسط ۹۵ درصد عدم قطعیت پیش‌بینی است (*P5PPU*)، ۵۱ درصد از مشاهدات را دربر گرفته و *R-FACTOR* برابر با ۰/۵۶ است. این نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پارسل مشاهدات را در طی واسنجی به خوبی برای حوزه کچیک در بر گرفته است. جدول (۵) محدوده‌های پارامترهای بهینه نهایی را که از فرایند واسنجی به دست آمده‌اند نشان می‌دهد.



شکل ۳- گراف ۹۵ppu دوره واسنجی

اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی نتایج مدل برای افزایش سطح اعتماد کاربر در قابلیت پیش‌گویانه مدل ضروری است. بنابراین، مدل توسط داده‌های رواناب مشاهده‌ای در ایستگاه‌های اندازه‌گیری برای دوره ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ اعتبارسنجی گردید.

جدول ۶ نمایه‌های آماری محاسبه شده‌ی نش_ساتکلایف، ضریب تعیین، *P-FACTOR* و *R-FACTOR* را برای دوره اعتبارسنجی نشان می‌دهد. مقادیر ضریب تعیین و نش_ساتکلایف به ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۷۱

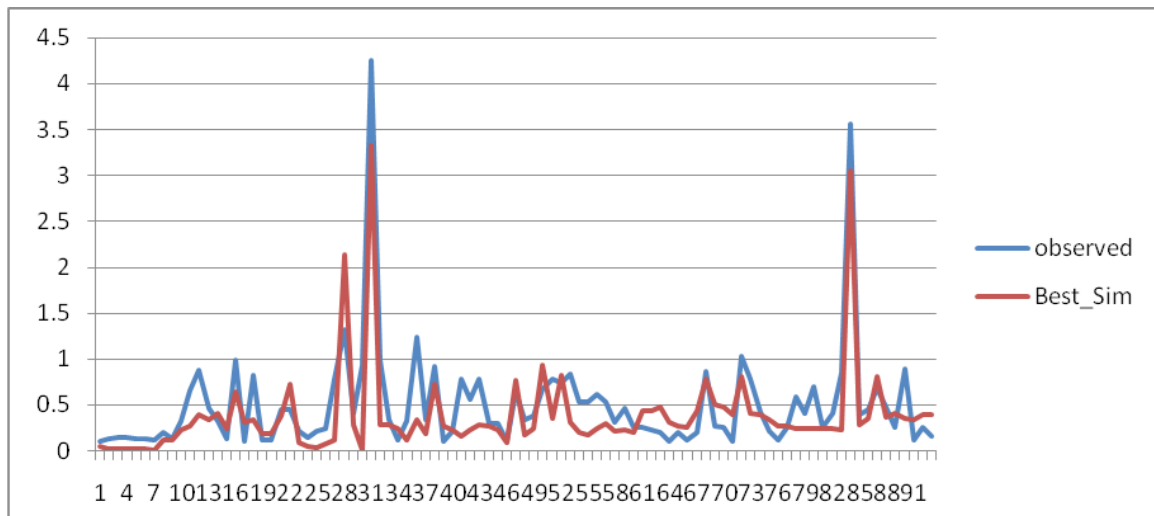
می‌باشد که بیان‌کننده عملکرد مناسب مدل در دوره اعتبارسنجی است. نمودارها به طور واضح مشخص می‌کنند که جریان شبیه‌سازی شده تا حد انتظار و قابل قبول با جریان مشاهده‌ای قابل مطابقت است. البته تخمین‌های بالا و کم در نمودارها مشهود است که می‌تواند به دلیل روش *CN2* استفاده شده در مدل باشد. به دلیل ضعف اصلی *CN2* که عدم در نظر گرفتن تغییرپذیری مکانی و زمانی بارندگی است. همان طور هم که در نتایج آنالیز حساسیت عنوان شد از پارامترهای بسیار حساس *CN2* می‌باشد که این نتیجه با نتایج ریونگ سانگ و همکاران (۲۰۱۰) دارد.

$CN2$ استفاده شده در مدل باشد. به دلیل ضعف اصلی $CN2$ که عدم در نظر گرفتن تغییرپذیری مکانی و زمانی بارندگی است. همان طور هم که در نتایج آنالیز حساسیت عنوان شد از پارامترهای بسیار حساس $CN2$ می باشد که این نتیجه با نتایج ریونگ سانگ و همکاران (۲۰۱۰) دارد.

نمودارها به طور واضح مشخص می کنند که جریان شبیه سازی شده تا حد انتظار و قابل قبول با جریان مشاهده ای قابل مطابقت است. البته تخمین های بالا و کم در نمودارها مشهود است که می تواند به دلیل روش

جدول ۵- محدوده پارامترهای بهینه نهایی

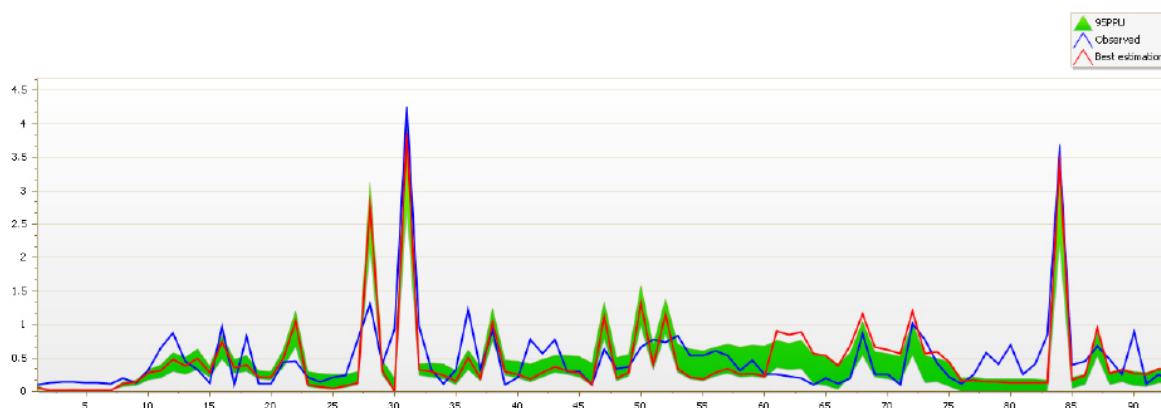
پارامتر	توصیف	محدوده اولیه	مقدار نهایی پارامتر
mgt.r_CN2	شماره منحنی SCS برای شرایط رطوبتی II	۳۵-۹۸	۵۰-۷۰
v__ALPHA_BF.gw	فاکتور آلفای جریان پایه (روز)	۰-۱	۱
v__GW_DELAY.gw	تاخیر آب زیرزمینی (روز)	۰-۳۰۰	۳۰۰
rte.v__CH_N2	ضریب مانینگ آبراهه	۰-۰/۸	۰/۱-۰/۲
sol.(2-1)r__SOL_AWC	ظرفیت آب در دسترس لایه خاک	-۰/۴-۰/۷	-۰/۴
sol.(2-1)r__SOL_K	هدایت هیدرولیکی اشباع (mm/hr)	-۰/۲-۰/۸	۰/۶۷
v__GWQMN.gw	عمق آب در آبخوان کم عمق برای جریان پایه برای رخ دادن (mm)	۰-۳۰۰۰	۶۸۶/۳۳۸
v__ESCO.hru	فاکتور جبران تبخیر خاک	۰/۱-۱	۱



شکل ۴- رواناب روزانه برای دوره اعتبار سنجی بین ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ در آبخیز

جدول ۶- ضرایب آماری به منظور ارزیابی عملکرد مدل در دوره اعتبارسنجی

R-FACTOR	P-FACTOR	نش-ساتکلایف	ضریب تعیین	ضرایب آماری
۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۷۱	۰/۷۵	مقدار



شکل ۴- گراف 95ppu دوره اعتبارسنجی

پاورقی‌ها

- 1- Ndomba
- 2- Hydrologic Response Unit
- 3- Local Sensitivity
- 4- Global Sensitivity
- 5- One At a Time
- 6- Digital Elevation Model

منابع مورد استفاده

۱. آبایی، ب و تیمور، س. ۱۳۸۸. ارزیابی عملکرد مدل *SWAT* در حوضه آبریز زاینده رود. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد شانزدهم، شماره سوم. ۴۱-۵۸.
۲. علوی نیا، م و فرزین، ن. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی برآورد رسوب با استفاده از مدل *SWAT*. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه بهمن ماه ۱۳۸۸، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
۳. نام درست، ج. ۱۳۸۱. شبیه‌سازی اثر پارامترهای هیدرولوژیکی بر روی رواناب خروجی در برخی حوضه‌های آبخیز ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریای نور، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۴۴ص.
۴. نجفی، م. ۱۳۸۱. سیستم‌های هیدرولوژیکی (مدل‌سازی بارندگی-رواناب). جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۷۸ص.
5. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., and Srinivasan, R. 2006. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *J. Hydrol.* 430-413. 4-333:2.
6. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *Journal of the*

نتیجه‌گیری

به منظور درک فرایندهای هیدرولوژیکی مختلف رخ داده در حوزه آبخیز کوچک، از مدل هیدرولوژیکی *SWAT* استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل *SWAT* می‌تواند رواناب سطحی را در سطح خوبی از دقت شبیه‌سازی نماید. اطلاعات درباره حساسیت مدل به بعضی پارامترهای ورودی برای توسعه مدل سودمند است و منجر به کاربرد موفقیت‌آمیز مدل می‌گردد. آنالیز حساسیت مدل مشخص کرد بیشترین حساسیت را به ترتیب پارامترهای ارتفاع آستانه آب در اکیفر سطحی که نیازمند است تا برگشت آب صورت پذیرد (*GWQMN*)، شماره منحنی (*CN2*)، جبران تبخیر از خاک (*ESCO*)، ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک (*SOL_AWC*)، هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع (*SOL_K*) دارا می‌باشند. مدل *SWAT* به طور موفقیت‌آمیزی در حوزه آبخیز کوچک با استفاده از الگوریتم *SCE-UA* واسنجی و اعتبارسنجی گردید. الگوریتم *SCE-UA* نتایج خوبی را در به حداقل رساندن اختلافات بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در حوزه کوچک به دست داد. براساس ارزیابی حساسیت پارامترهای مدل، مدل *SWAT* برای جریان رواناب در خروجی حوزه واسنجی و اعتبارسنجی گردید. فرایند واسنجی داده‌های اندازه‌گیری شده سال ۲۰۰۴ را استفاده کرد و همبستگی قوی ($R^2 = 0.71$ و $Ns = 0.70$) بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی به دست آورد. اعتبارسنجی مدل برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ انجام گرفت و مقادیر R^2 ، Ns به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۷۱ به دست آمد. بیانگر رابطه خطی قوی بین ۲ مقدار مشاهده‌ای و شبیه‌سازی است. این مطالعه مشخص کرد که مدل *SWAT* می‌تواند ابزار موثر برای شبیه‌سازی با دقت هیدرولوژی آبخیز کوچک باشد. نتایج نشان داد که مدل *SWAT* می‌تواند رواناب سطحی را در سطح خوبی از دقت شبیه‌سازی نماید. مدل واسنجی شده *SWAT* می‌تواند برای آنالیزهای بعدی، اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی همچنین دیگر سناریوهای مدیریتی مختلف بر رواناب استفاده شود.

- Station, Temple, Texas at <http://www.brc.tamus.edu/swat>.
17. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe, 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models: Part I. A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology* 290-282:(3)10.
 18. Ndomba, P., F. Mtaló., and A. Killingveit. 2008. SWAT Model Application in a Data Scarce Tropical Complex Catchment in Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth* 632-626 .33.
 19. Reungsong, P., R.S. Kanwar, K. Srisuk. 2010. Application Of Swat Model In Simulating Stream Flow For The Chi River Subbasin In Northeast Thailand. *Trend research in science and thchnology* 28-23 ,(1)2.
 20. Santhi, C., J.G. Arnold, J.R. Williams, W.A. Dugas, and L. Hauck. (2001). Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *J. of the American Water Resources Association* 1188-1169:(5)37.
 21. Sorooshian, S. and V.K. Gupta, 1995. Model calibration. In: *Computer Models of Watershed Hydrology*, Singh, V.P. (Ed.). Water Resources Publications, Colorado, pp: 68-23.
 22. Spruill, C.A., S.R. Workman, and J.L. Taraba, 2000. Simulation of Daily and Monthly Stream Discharge From Small Watersheds Using the SWAT Model. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 1439-1431:(6)43.
 23. Van Griensven, A., Meixner, T., 2006. Methods to quantify and identify the sources of uncertainty for river basin water quality models. *Water Science and Technology*, 59-51 :(1)53.
 24. White, K.L., Chaubey, I., (2005). Sensitivity analysis, calibrations, and validation for a multisite and multivariate SWAT model. *Journal of the American Water Resources Association* 1089-1077 ,(5) 41
 25. Yisa, J. and T. Jimoh, 2010. Analytical studies on water quality index of river Landzu. *Am. J. Applied Sci.*, 458-453 :7. DOI: 10.3844/ajassp.2010.453.458
- American Water Resources Association 89-73 ,(1) 34.
7. Benaman, J., C. A. Shoemaker, and D. A. Haith. 2005. Calibration and validation of Soil and Water Assessment Tool on an agricultural watershed in upstate New York. *J. Hydrol. Eng.* 374-363 :(5)10.
 8. Beven, K.J., (2001). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. Wiley, New York.
 9. Duan, Q., V. K. Gupta, and S. Sorooshian, Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, *Water. Resour. Res.*, 1992 ,1031-28:1015.
 10. Duan, Q., S. Sorooshian, H. V. Gupta, A. N. Rousseau, and R. Turcotte, *Advances in Calibration of Watershed Models*, AGU, Washington, DC, 2003.
 11. Gassman, P.W., Reyes, M., Green, C.H., Arnold, J.G., 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future directions. *Transactions of the ASABE* 1250-1212 ,(4) 50.
 12. Gupta, H.V., P. O. Yapo., and S. Sorooshian. 1996. Automatic calibration of conceptual rainfallrunoff models: Sensitivity to calibration data. *J. Hydrol.* 181p.
 13. Grizzetti, B., F. Bouraoui, K. Granlund, S. Rekolainen, and G. Bidoglio. 2003. Modelling diffuse emission and retention of nutrients in the Vantaanjoki watershed (Finland) using the SWAT model. *Ecological Modelling* 38-169:25.
 14. Holvoet, K., A. van Griensven, P. Seuntjens, and P. A. Vanrolleghem. 2005. Sensitivity analysis for hydrology and pesticide supply towards the river in SWAT. *Phys. Chem. Earth* 526-518 :(10)8)30.
 15. Hosseini, M., M.S.M. Amin., A.M. Ghafouri and M.R. Tabatabaei. 2011. Application of Soil and Water Assessment Tools Model for Runoff Estimation. *American Journal of Applied Sciences* ,494-486 :(5) 8 2011
 16. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams. (2005). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation - Version 2005*. Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, and Blackland Agricultural Research

