نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال دوازدهم- شماره ۴۰- بهار ۱۳۹۷ Vol. 12, No. 40, Spring 2018

شبیه‌سازی رواناب، رسوب و تبخیر-تعرق با استفاده از سناریوهای مدیریتی برای کاهش بار رسوب با استفاده از مدل SWAT

محمد سهیل رضازاده[۱]، بهرام بختیاری[۲]، کریم عباسپور[۳]، محمد و مهدی احمدی[۴]

تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

چکیده

بررسی بار رسوب، رواناب و تبخیر- تعرق حوضه‌های آبخیز برای استفاده بهینه از منابع آب‌وخاک و مدیریت هرچه بهتر حوضه‌ها ضروری است. یکی از این مدل‌های که به بررسی رسوب، رواناب و تبخیر- تعرق می‌پردازد مدل هیدرولوژیکی SWAT می‌باشد. در این پژوهش، شبیه‌سازی رواناب، تبخیر- تعرق واقعی و بار رسوب حوضه سلطانی بافت با به‌کارگیری دو سناریو مدیریتی برای کاهش رسوب با استفاده از مدل SWAT برای دوره آماری ۳۳ ساله از۱۳۵۸ تا ۱۱۳۹۱انجام گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با شاخص‌های آماریNS ،R2 و br2 ارزیابی شد که در مرحله واسنجی این شاخص‌ها برای رواناب به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۷ و ۰/۶۸، برای تبخیر-تعرق به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۸۱ و ۰/۶۹ و برای بار رسوب به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۳ و ۰/۶۶ به دست آمدند. با توجه به نتایج مدل از عملکرد مطلوبی در مرحله واسنجی نشان داده است. همچنین در مرحله اعتبارسنجی نیز این شاخص‌ها برای رواناب به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۷ و ۰/۵۹، برای تبخیر- تعرق ۰/۷۴، ۰/۷۲، ۰/۶۲ و برای بار رسوب به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۹ و ۰/۵۶ محاسبه شدند که نشان‌دهنده نتایج مطلوبی است. استفاده از دو سناریوی تغییر کاربری و احداث فیلتر گیاهی در مرز بین خشکی و رودخانه به ترتیب باعث کاهش ۷ و ۳۸ درصدی بار رسوب گردید.

کلید واژه‌ها: *SWAT، Filter strips، رواناب، مدل نیمه توزیعی*

مقدمه

بررسی فرسایش، بار رسوب، رواناب و تبخیر - تعرق حوضه‌های آبخیز و رودخانه‌ها برای استفاده بهینه از منابع آب‌وخاک، از مهم‌ترین چالش‌های جدی مدیریت منابع آب کشور محسوب می‌شوند که در بهره‌برداری از تأسیسات آبی و سدها مؤثر هستند. در کشور ما تعداد زیادی حوضه آبخیز فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی و دوره آماری مناسب می‌باشند که این امر هرگونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل مواجه می‌سازد. برای مقابله با این مسئله، پژوهشگران و محققان راه‌حل‌های مختلفی نظیر فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی عرضه کرده‌اند که به علت داشتن محدودیت‌هایی تاکنون هیچ‌کدام نتوانسته‌اند راه‌حل مطلوبی ارائه دهند.

در این راستا شبیه‌سازی کامپیوتری در چهار دهه اخیر به‌طور فزاینده‌ای توسعه داده‌شده و مورداستفاده قرارگرفته است که دلایل اصلی آن را می‌توان ظاهر شدن مدل‌ها و روش‌های جدید توسعه مؤسسات تحقیقاتی و افزایش تقاضا برای ابزار توسعه‌یافته در کنار افزایش فشار بر استفاده بهینه از منابع آب دانست. برای مدیریت حوضه آبریز و جلوگیری از بروز ناسازگاری در اقدامات طراحی‌شده در سطح حوضه به مدلی نیاز است که بتواند حجم وسیع داده‌ها ازجمله بارش، توپوگرافی، مرزهای حوضه، خصوصیات خاک و لایه زیرسطحی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، سامانه‌های انتقال آب، سازه‌های آبی و اقدامات مدیریتی موجود، داده‌های موجود کیفی آب و سطح آب زیرزمینی را در شبیه‌سازی به کاربرد [۱۲].

بنابراین استفاده از مدلی با جامعیت لازم در شبیه‌سازی حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل‌های هیدرولوژیکی که برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز مورداستفاده قرار می‌گیرند عموماً به دو گروه یکپارچه و توزیعی تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل‌های توزیعی اغلب به دلیل قابلیت اتصال به سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) قادرند تمامی تغییرات مکانی را لحاظ کرده، اما اجرای آن‌ها مخصوصاً در حوضه‌های وسیع بسیار زمان‌بر خواهد بود. اولین مدل هیدرولوژیکی مدل حوضه استنفورد (Standford) می‌باشد که توسط سینگ به انجام رسیده است[۱۵] . در سال‌های اخیر مدل‌هایی با ماهیت نیمه توزیعی ارائه شده‌اند که در شبیه‌سازی حوضه‌های وسیع موفقیت‌آمیز بوده‌اند. یکی از این مدل‌های نیمه توزیعی که در نقاط مختلف جهان مورداستفاده قرارگرفته، مدل هیدرولوژیکی SWAT(Soil and Water Assessment Tools) است.

SWAT اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط جف آرنولد در سرویس

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه شهید باهنرکرمان،پست الکترونیک:.soheilrzzdh@hotmail.com
۲- استادیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنرکرمان.
۳- محقق و پژوهشگر موسسه ایاگ سوئیس
۴- استادیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنرکرمان

تحقیقات کشاورزی آمریکا طراحی و پایه‌گذاری شد. در تحقیقات زیادی با اهداف مختلف از مدل SWAT استفاده‌شده است که به‌عنوان نمونه به چند مورداشاره می‌شود. [۱، ۳، ۴، ۷ و ۸] در نقاط مختلف دنیا و در شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متفاوت به بررسی کارایی مدل SWAT پرداختند که همه آن‌ها به توانایی بالای این مدل در شبیه‌سازی رواناب، رسوب و تبخیر- تعرق صحه گذاشتند.

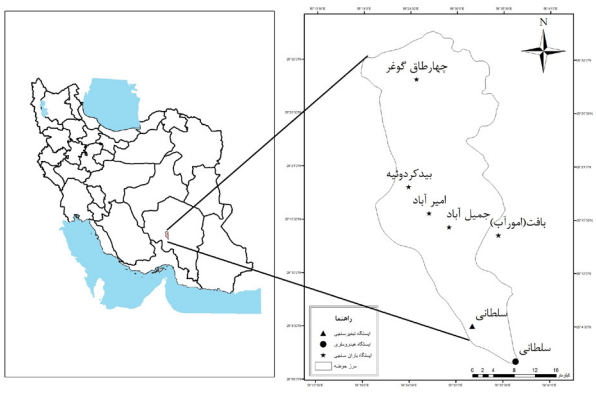
وانگ و همکاران [۱۶] با مدل‌سازی اثر گزینه‌های مختلف کاربری اراضی در حوضه زامو (Zamu) در چین به این نتیجه رسیدند که کاربری‌های اراضی مختلف دارای اثرات مختلفی بر مقدار رواناب و آب زیرزمینی حوضه می‌باشند و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی جنگلی در حوضه منجر به افزایش میزان رواناب سالیانه و کاهش آب زیرزمینی در اثر کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش تعرق در حوضه می‌گردد.

لیرونگ [۹]به بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر میزان رواناب و تبخیر و تعرق با مدل SWAT در حوضه بیانگ (Beijiang) پرداخت که با قرار دادن ۱۵ سناریو در مدل واسنجی شده تحت کاربری اراضی ثابت به این نتیجه دست‌یافت که تغییرات آب‌وهوا بر میزان رواناب حوضه مؤثر است. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش دما و تغییر ندادن بارش در یک سناریو، میزان تبخیر و تعرق زیاد و رواناب کم می‌شود و همچنین در سناریوی دیگر با افزایش بارش و تغییر ندادن دما، میزان تبخیر و تعرق و رواناب افزایش پیدا می‌کند.

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیک حوضه سلطانی واقع در شهرستان بافت برای بررسی میزان رواناب، رسوب و تبخیر- تعرق با به‌کارگیری دو سناریوی مدیریتی برای کاهش بار رسوب که منجر به مدیریت بهتر حوضه و استفاده بهینه از منابع آب سطحی می‌شود، است. درنهایت مدل برای حوضه موردنظر واسنجی شد و سپس عملکرد آن با الگوریتم Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

حوضه سلطانی در محدوده جغرافیای شهرستان بافت واقع در استان کرمان قرار دارد که ازنظر موقعیت جغرافیایی در محدوده۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۷ درجه و۵۰ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه تا ۲۹ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی واقع‌شده است. وسعت این محدود ۹۸۸ کیلومترمربع است. در شکل ۱ منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های مورداستفاده آورده شده است.



شکل ۱- منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های مورداستفاده

Figure 1. Location of the study area & Station position

معرفی مدل

SWAT مدلی بزرگ‌مقیاس می‌باشد. این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی- کشاورزی در سطح حوضه‌های با خاک و کاربری اراضی مختلف در درازمدت طراحی‌شده است که بر اساس بیلان آبی استوار است. مزایای این مدل این است که حوضه‌هایی که فاقد داده‌های برداشت‌شده می‌باشند نیز قابل شبیه‌سازی هستند. همچنین تأثیر نسبی داده‌های ورودی (تغییر در روش‌های مدیریتی، آب‌وهوا، پوشش گیاهی) بر روی کیفیت آب و دیگر متغیرهای موردنظر قابل کمی کردن هستند. مدل SWAT از پارامترهای ورودی قابل‌دسترس استفاده می‌کند و ازنظر محاسباتی بسیار کارآمد است و شبیه‌سازی حوضه‌های بزرگ و پیچیده را با راهکارهای مختلف مدیریتی بدون صرف زمان زیادی قابل‌اجرا می‌سازد. برای شبیه‌سازی، ابتدا یک حوضه باید به تعدادی زیر حوضه تقسیم شود. استفاده از زیر حوضه‌ها در شبیه‌سازی، به‌خصوص زمانی که مناطق مختلف حوضه دارای خاک یا کاربری‌های گوناگون هستند که ناهمگنی و تفاوت آن‌ها می‌تواند در هیدرولوژی حوضه تأثیر داشته باشد، بسیار مفید است. تفکیک حوضه به زیر حوضه‌ها، مدل را قادر می‌سازد تا تفاوت در مقدار و شدت تبخیر - تعرق را برای گیاهان و خاک‌های مختلف منعکس کند. رواناب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی (Hydrologic Response Unite) به‌طور مستقل محاسبه و روند یابی می‌شود تا درنهایت مقدار کل رواناب حوضه محاسبه گردد. این روش، دقت محاسبات را افزایش داده و توصیف فیزیکی بسیار بهتری از بیلان آبی حوضه را ارائه می‌کند.

اجرای مدل

اطلاعات و داده‌های اساسی مدل شامل نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک، داده‌های هواشناسی از قبیل بارندگی، حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه، میزان رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، میزان تشعشع نور خورشید در مقیاس روزانه و دبی رودخانه در ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی حوضه جهت انجام مراحل واسنجی می‌باشد. در این تحقیق از نقشه مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر استفاده‌شده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ ماهواره Landsat استفاده شد برای تاریخ ۱۳۹۰/۲/۱۸ و نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. تصحیح هندسی از اصول اولیه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد، برای انجام این تصحیح از معادله آفاین (Affin) که دارای دقت بالایی است، استفاده شد. سطح زمین و ذرات معلق در هوا باعث کاهش درجه وضوح تصاویر در باندهای مرئی ماوراءبنفش

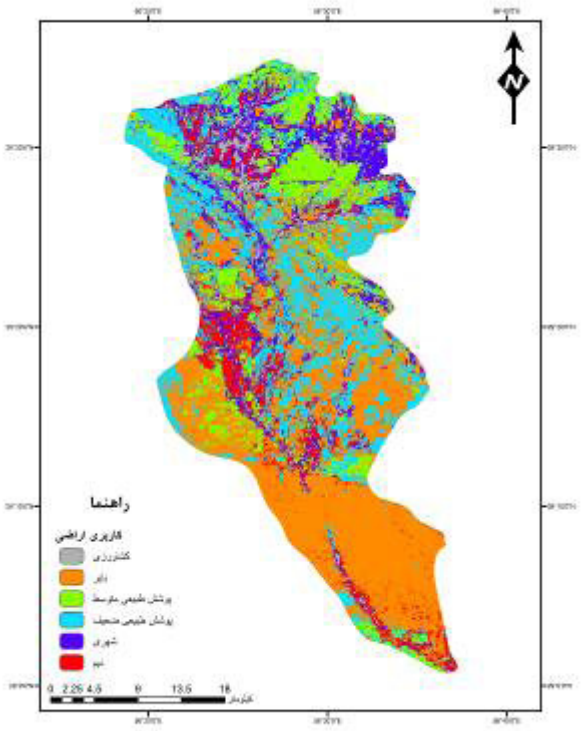
می‌شوند [۱۰]. این ذرات معلق بر روی طول‌موج‌های کوتاه باندهای تصاویر ماهواره‌ای تأثیر می‌گذارند که برای برطرف کردن این تأثیر از تصحیح رادیومتری استفاده شد. سپس با نرم‌افزار Envi4.8 از روش حداکثر مشابهت (Maximumlikelihood) نقشه کاربری اراضی منطقه موردنظر استخراج شد و برای صحت‌سنجی کاربری اراضی از منطقه بازدید میدانی به عمل آمد و ۲۵ نقطه به‌وسیله GPS برای صحت‌سنجی برداشت شد. این منطقه ازلحاظ کاربری به ۶ کاربری مختلف تقسیم شد(کشاورزی ۴۹، زمین بایر ۴۲۰، زمین با پوشش طبیعی متوسط ۱۶۴، زمین با پوشش طبیعی ضعیف ۲۴۰، زراعی ۹۰ و شهری ۲۵ کیلومترمربع) که در شکل ۲کاربری اراضی حوضه نشان داده‌شده است.در این پژوه از نقشه جهانی خاک فائو استفاده شد، همچنین برای اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری از ایستگاه‌های موجود در شکل ۱ استفاده شد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه و تهیه فایل‌های ورودی، مراحل اجرای مدل به ترتیبی که تشریح می‌شود انجام شد. در مرحله اول با واردکردن نقشه مدل رقومی ارتفاعی و تعیین حداقل مساحت دلخواه بر اساس حداقل آستانه، حوضه به تعدادی زیر حوضه تقسیم می‌شود که رابط ArcSWAT برای هر زیر حوضه مشخصات فیزیکی از قبیل مساحت، طول آبراهه اصلی، شیب و غیره را تعیین می‌کند. بر این اساس، منطقه موردمطالعه به ۹ زیر حوضه تقسیم شد. نقشه کاربری اراضی، خاک و اطلاعات شیب که به پنج طبقه شیب که شامل ۰ تا ۵ درصد، ۵ تا ۱۰ درصد، ۱۰ تا ۲۰ درصد، ۲۰ تا ۴۰ درصد و بیش از ۴۰ درصد در حوضه تعریف شد، به مدل اضافه شدند. سپس با روی‌هم اندازی آن‌ها واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی تولید شد. همان‌طور که اشاره شد مدل SWAT برای اجرا به داده‌های هواشناسی نیاز دارد که برای

این امر، مدل دارای مولد داده‌های اقلیمی (Weather Generator) می‌باشد [۱۴]؛ که از این مولد داده‌های اقلیمی، جهت تولید داده‌های روزانه و بازسازی آمار مفقودشده استفاده می‌شود. ایستگاهی که در این قسمت به مدل معرفی می‌گردد باید دارای آمار بلندمدت از تمامی پارامترهای هواشناسی از قبیل بارندگی، حداقل و حداکثر درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی باشد که در کشور ما محدود به ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشند. ایستگاه مورداستفاده در این پژوهش ایستگاه سینوپتیک بافت بود. لازم به یادآوری است که این ایستگاه تنها زمانی در شبیه‌سازی مورداستفاده قرار می‌گیرد که مدل در اطلاعات ایستگاه‌های بارندگی و درجه حرارت با داده‌های مفقودشده روبرو گردد. در این پژوهش برای محاسبه تبخیر – تعرق پتانسیل روش پنمن– مانتیث، روند یابی جریان از روش ذخیره متغیر و رسوب از معادله جهانی اصلاح شده فرسایش خاک (MUSLE) استفاده شد در شکل ۳ دیاگرام مربوط به مراحل انجام کار مشاهده می‌شود.

آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت سنجی

عمل واسنجی شامل تصحیح پارامترهای حساس در مدل است



شکل۲- کاربری اراضی حاصل از تصاویر سنجنده+ETM

Figure 2. Land use of images of ETM+

به‌طوری‌که نتایج خروجی را به داده‌های مشاهداتی نزدیک کند، این موهم فقط از طریق تغییر مکرر پارامترها به دست می‌آید. ازآنجاکه این عمل بسیار زمان‌بر است برای انجام این کار استفاده از یک برنامه واسط ضروری است که بدین منظور برنامه SWAT_CUP تدارک دیده‌شده است [۲]. در این پژوهش از روش SUFI_2 در برنامه SWAT_CUP استفاده شد. روش SUFI_2، تمام عدم قطعیت‌ها شامل عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده را در مدل‌سازی در نظر می‌گیرد. بعد از مرحله واسنجی نوبت به اعتبارسنجی مدل می‌رسد. در اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی‌شده بعد از واسنجی، در بازه زمانی متفاوتی با داده‌های مشاهداتی مقایسه می‌شوند. اعتبارسنجی درواقع قابلیت اطمینان و اعتمادپذیری به مدل را مشخص می‌کند.

نتایج

شبیه‌سازی برای دوره آماری ۳۳ ساله از ۱۱۳۵۸ تا ۱۳۹۱ انجام شد که دو سال ابتدا برای متعادل‌سازی[1] مدل استفاده شد. برای واسنجی مدل در بخش رواناب و تبخیر– تعرق ۲۲ سال از داده‌ها و برای اعتبارسنجی ۹ سال از داده‌ها در نظر گرفته شد. همچنین به علت کمتر بودن طول دوره آماری بار رسوب از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۶ برای واسنجی و از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ برای اعتبارسنجی

1- Warm Up

مدل استفاده شد. برای تحلیل نتایج واسنجی از شاخص‌های br^2 (ضریب تعیین R^2 ضرب‌در ضریب خط رگرسیون)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب نش_ساتکلیف (NS) استفاده شد. تاکنون هیچ معیار خاصی در مورد مقادیر مناسب برای پارامترهای ضریب تعیین و نش- ساتکلیف ارائه نشده است؛ اما موریاسی پیشنهاد می‌کند که مقادیر NS در مطالعات هیدرولوژیک و همچنین فرآیندهای مربوط به انتقال آلاینده‌ها در مقیاس ماهانه باید از ۰/۵ بزرگ‌تر باشد تا بتوان نتایج مدل را قابل‌قبول قلمداد نمود که معمولاً همین معیار برای مقدار پارامتر R^2 نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد[۱۱].

در مرحله آنالیز حساسیت با توجه به مطالعات گذشته که بر روی مدلSWAT انجام‌شده بود، ۴۰ پارامتر که در رواناب، رسوب و تبخیر- تعرق تأثیر بیشتری داشتند، انتخاب شدند. پس از آنالیز حساسیت، ۲۵ پارامتر که حساسیت بیش‌تری نشان دادند که در جدول شماره ۳ آورده شده‌اند. مقادیر رواناب و تبخیر- تعرق واقعی شبیه‌سازی‌شده در طول دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۶۰ و همچنین مقادیر رسوب در طول دوره ۱۳۸۶-۱۳۶۶ مورد واسنجی قرار گرفت.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که مدل در شبیه‌سازی روند پارامترهای هیدرولوژیکی(رواناب، تبخیر- تعرق واقعی و رسوب) به‌خوبی عمل کرده، ولی در پیش‌بینی مقادیر پیک عملکرد مناسبی به‌خصوص در شبیه‌سازی رواناب و رسوب نداشته است. با توجه به کوهستانی بودن شمال حوضه و بارش برف در این مناطق و اینکه مدل در شبیه‌سازی ذوب برف عملکرد ضعیفی دارد، می‌توان این ضعف را یکی از عوامل عدم موفقیت در شبیه‌سازی مقادیر واقعی جریانات حداکثر دانست[۵].

ولی به‌طورکلی با توجه به نتایج شاخص‌های آماری NS، R^2و br^2 می‌توان عملکرد مدل را موفقیت‌آمیز دانست.

بعد از واسنجی، اعتبارسنجی انجام گرفت. برای اعتبارسنجی بازه زمانی (۱۳۹۱-۱۳۸۲) برای رواناب و تبخیر-تعرق واقعی و بازه (۱۳۹۱-۱۳۸۶) برای رسوب در نظر گرفته شد.

در مرحله اعتبارسنجی مدل همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، دقت مدل نسبت به مرحله واسنجی کمتر شده است. در این شکل در بازه زمانی واسنجی مشاهده می‌شود که مدل در این مرحله رواناب و رسوب را بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده شبیه‌سازی کرده است، یکی از دلایل این امر را می‌توان انجام عملیات آبخیزداری مانند احداث سدهای خاکی و بندهای متعدد در بازه زمانی اعتبارسنجی این حوضه دانست که موجب کاهش رواناب خروجی از حوضه شده است. یکی دیگر از عوامل کاهش دقت مدل در اعتبارسنجی، ورود به دوره خشک‌سالی و تغییر اقلیم است. به‌طورکلی، مدل‌های شبیه‌سازی در برآورد مقادیر کم جریان عملکرد ضعیفی از خود نشان داده‌اند. این مشکل را می‌توان در ساده‌سازی‌های این دسته از مدل‌ها در شبیه‌سازی تعامل پیچیده بین رواناب و جریان زیرسطحی در مواقع بارندگی با ارتفاع کم دانست [۶]. بااین‌حال نتایج شاخص‌های آماری حاکی از عملکرد خوب مدل و همخوانی مدل با شرایط هیدرولوژیک منطقه می‌باشد.

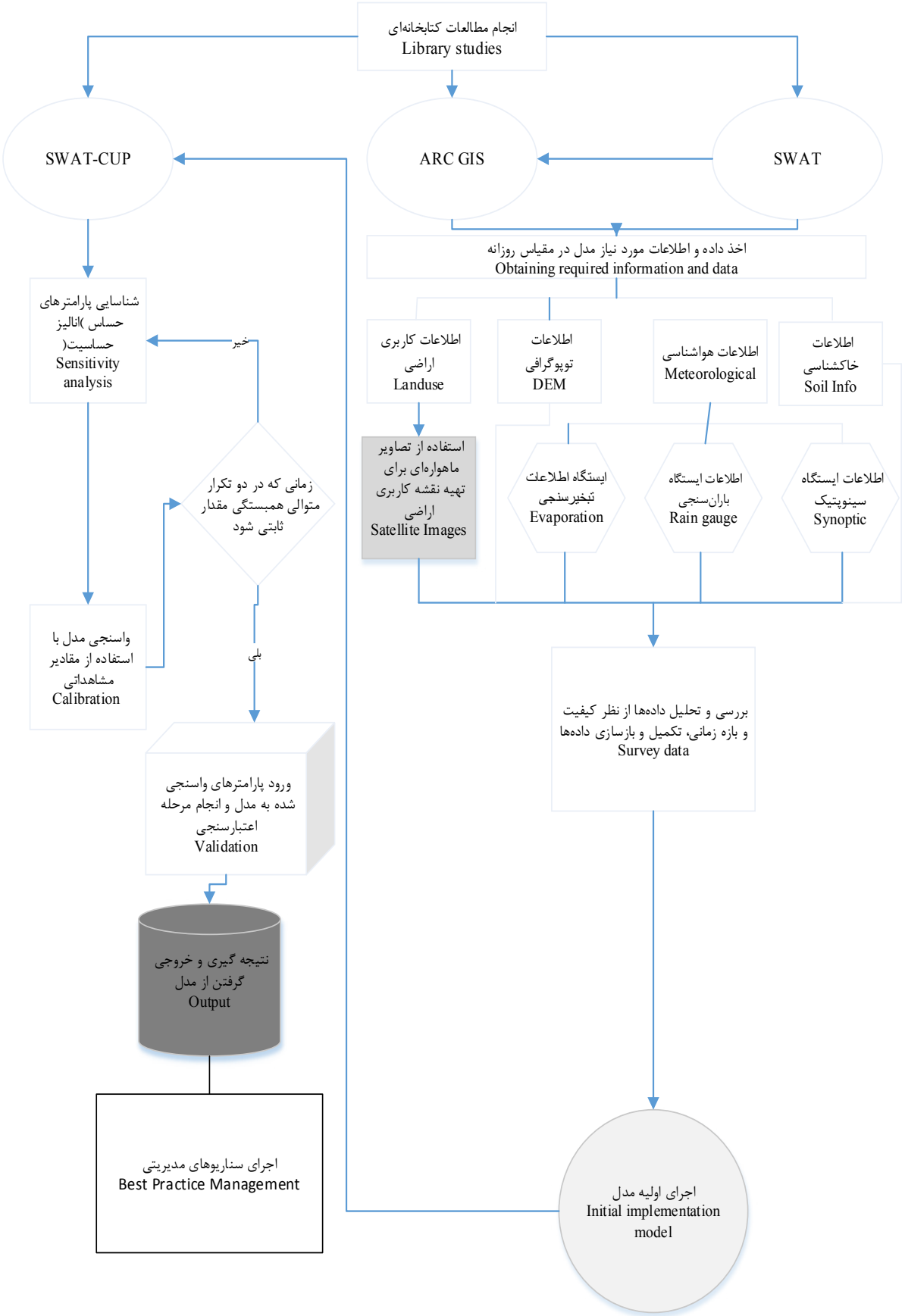
سناریو مدیریتی

همان‌طور که گفته شد در سال‌های اخیر در منطقه عملیات آبخیزداری مانند احداث سدهای خاکی و بندهای متعدد انجام‌گرفته است. بنابراین برای جلوگیری از انتقال و تجمع رسوب و همچنین کاهش فرسایش و جل.گیری از پر شدن مخزن این سد و بندها باید تمهیداتی پیش‌بینی شود. برای حفاظت خاک معمولاً از روش‌هایی استفاده می‌شود که تحت عنوان بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) شناخته می‌شوند. یکی از راهکارهای مدیریتی کاهش رسوب که در نقاط مختلف دنیا مورداستفاده قرارگرفته و نتایج مطلوبی نیز داشته است استفاده از نوار کشت گیاهی (Filter Strips) در مجاور آبراهه‌ها می‌باشد. این فیلتر نواری، محدوده مابین مرز آب رودخانه یا دریاچه با خشکی (کاربری اراضی‌های مختلف: مرتع، جنگل و ...) است که با کشت گیاه ایجاد می‌شود. کاربرد این نوار زمانی نمایان می‌شود که رواناب به سمت رودخانه درحرکت باشد در این هنگام پوشش گیاهی رسوب، مواد آلی و مواد مغذی را فیلتر می‌کند. آب خروجی از فیلتر سرعت کمتری دارد درنتیجه مواد معلق بیشتری ته‌نشین می‌شوند. همچنین رسوب به دام افتاده در پوشش گیاهی مقداری از مواد غذایی رواناب را جذب کرده و امکان جذب را برای گیاهان فراهم می‌کند. با توجه به پژوهش‌های پیشین بهترین عرض این فیلتر ۲۰ متر می‌باشد[۱۳]. لذا در این پژوهش نیز از کشت نواری به عرض ۲۰ متر استفاده شد. محل این نوار نیز در کنار آبراهه‌های اصلی حوزه که به خروجی حوضه منتهی می‌شوند در نظر گرفته شد. نوع گیاه کشت‌شده در این فیلتر از گیاهان زراعی غالب منطقه در نظر گرفته شد به این صورت که در فصل گرم ذرت و در فصل سرد گندم انتخاب شد.

یکی دیگر از راهکارهای مدیریتی برای کاهش رواناب و رسوب تغییر کاربری اراضی می‌باشد. کاربری اراضی و پوشش گیاهی با به ضریب رواناب نقش به سزای در تولید رواناب و رسوب ایجاد می‌کند. در این پژوهش با توجه به وجود زمین‌های بایر زیادی که در حوضه وجود داشت، در برخی زیر حوضه‌ها این کاربری به مرتع با پوشش گیاهی متوسط و کشاورزی تغییر یافت.

بنابراین احداث فیلتر گیاهی به‌عنوان سناریو اول (BPM1) و تغییر کاربری اراضی به‌عنوان سناریو دوم (BPM2) موردبررسی قرار گرفت. در شکل ۶ زیر حوضه‌های که اقدامات مدیریتی در آن‌ها اعمال‌شده است قابل‌مشاهده می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۷ قابل‌مشاهده است، میزان بار رسوب در هر در سناریو کاهش پیداکرده است که در سناریو اول کاهشی معادل ۳۸ درصد و در سناریو دوم کاهشی معادل ۷ درصد را شاهد هستیم. همین‌طور در شکل ۸ نیز به مقایسه رواناب در حالت نرمال و تحت سناریو دوم پرداخته شده است که در سناریو دوم رواناب کاهش ۳ درصدی را داشته است. لازم به ذکر است کاهش رواناب تحت سناریو اول بسیار ناچیز بوده و به همین علت به آن اشاره‌ای نشده



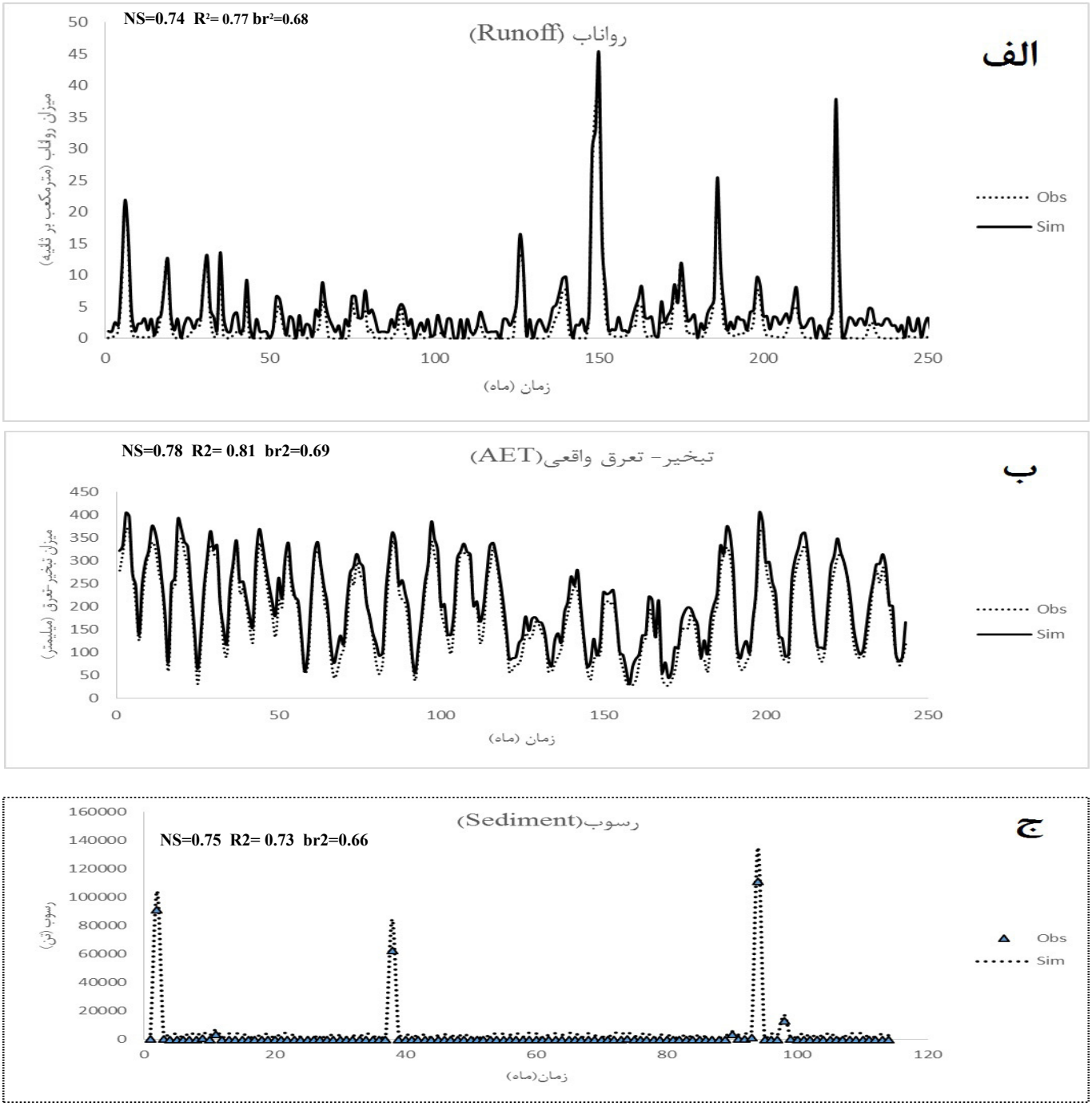
شکل ۳- دیاگرام انجام مراحل کار

Figure 3. Diagram of the Process of Work

جدول شماره ۳- پارامترهای حساس و مقادیر بهینه آن‌ها

Table 3. Sensitive parameters and their optimal values

ردیف RAW	نام پارامتر Parameter	توضیح پارامتر Parameter Description	مقدار واسنجی شده The calibrated Value
1	a__ESCO.hru	ضریب تصحیح تبخیر از خاک The correction factor evaporation from soil	0.646
2	a__EPCO.hru	ضریب جبران جذب گیاه Plant uptake compensation factor	0.381
3	v__SURLAG.bsn	ضریب تأخیر رواناب سطحی Delay surface runoff coefficient	3.424
4	V_SLSOIL.hru	شیب طولی برای آبراهه فرعی(متر) Longitudinal slope for drainage sub(m)	41.775
5	r__CN2.mgt	شماره منحنی Curve number	-0.1804
6	a__GWQMN.gw	آستانه عمق آب در جریان زیرسطحی (میلی‌متر) Threshold depth of water in shallow aquifer (mm)	74.61
7	v_REVAPMN.gw	آستانه عمق آب در جریان زیرسطحی برای Revap (میلی‌متر) Threshold depth of water in shallow aquifer for Revap[1] (mm)	0.8898
8	a__GW_REVAP.gw	ضریب «Revap" برای آب زیرزمینی Factor Groundwater "Revap"	0.1335
9	v__ALPHA_BF.gw	ضریب عکس‌العمل جریان آب زیرزمینی Ks groundwater flow	0.0091
10	r__SOL_BD(..).sol	چگالی ظاهری خاک(گرم بر سانتیمتر مکعب) Bulk Density(g/Cm^3)	0.089
11	r__SOL_K(..).sol	هدایت هیدرولیکی خاک اشباع (میلی‌متر بر ساعت) hydraulic conductivity(mm/hr) Saturated	5.215
12	v__CH_K2.rte	هدایت هیدرولیکی آبراهه اصلی(میلی‌متر بر ساعت) Hydraulic conductivity of the main stream(mm/hr)	43.15
13	v__CH_N2.rte	ضریب مانینگ آبراهه اصلی The main channel Manning coefficient	0.121
14	v__SMFMX.bsn	عامل ذوب برف در ۲۱ جولای(میلی‌متر بر درجه در روز) Snow melting agent on July 21(mm/c-day)	5.061
15	v__SMFMN.bsn	عامل ذوب برف در ۲۱ دسامبر(میلی‌متر بر درجه در روز) Snow melting agent on December 21(mm/c-day)	2.255
16	v__TIMP.bsn	ضریب تأخیر دمای توده برف Snow mass temperature coefficient of delay	0.8115
17	r__OV_N.hru	ضریب مانینگ برای جریان سطحی Manning roughness coefficient for surface flow	1.713
18	r__SLSUBBSN.hru	میانگین شیب طولی (متر) Average slope length (m)	0.208
19	r__HRU_SLP.hru	میانگین شیب(متر بر متر) Average slope steepness (m/m)	-0.256
20	r__SOL_AWC(..).sol	ظرفیت آب قابل در دسترس(میلی‌متر آب بر میلی‌متر خاک) Available water capacity(mm H_2O/mm soil)	0.218
21	v__PRF.bsn	ضریب تصحیح میزان پیک رسوب در روندیابی کانال اصلی adjustment factor for sediment routing in main channel Peak rate	1.4558
22	v__SPCON.bsn	پارامتر خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب Linear parameter for calculating the max amount of sediment	0.005225
23	v__CH_COV2.rte	ضریب پوشش کانال factor Channel cover	0.2193
24	r__SOL_Z(..).sol	عمق از سطح خاک تا لایه زیرین of the soil surface to the substrate The depth	0.3252
25	r__USLE_C{..}.crop.dat	ضریب حداقل مقدار C در معادله USLE C factor USLE Min value of	1.218



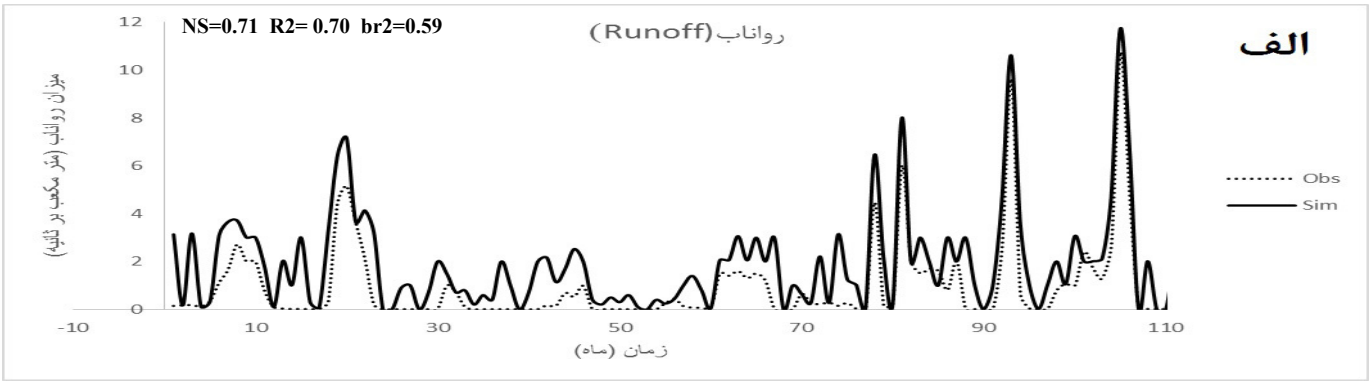
شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی برای برآورد رواناب، تبخیر-تعرق واقعی و رسوب بعد از واسنجی

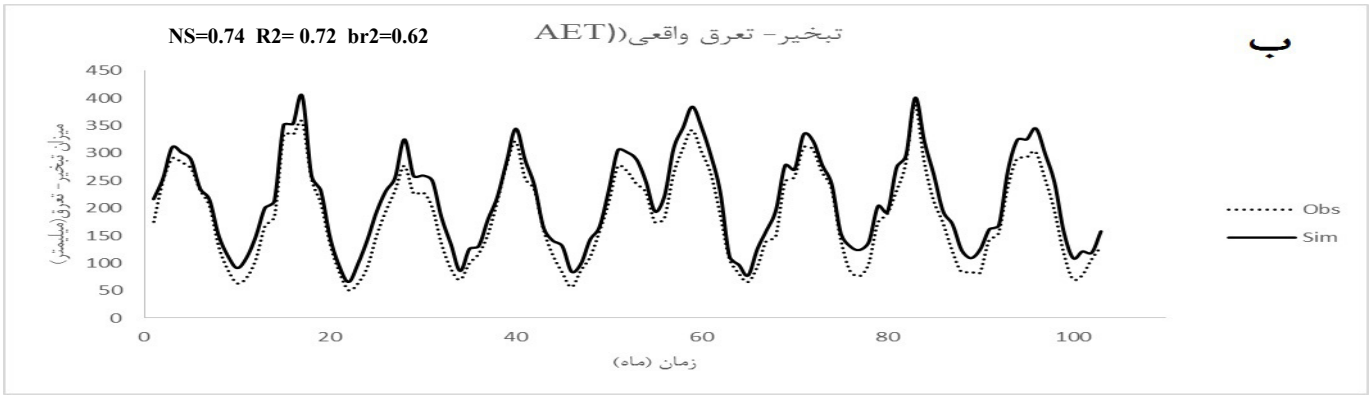
Figure 4. The simulation results for the runoff, AET & Sediment after calibration

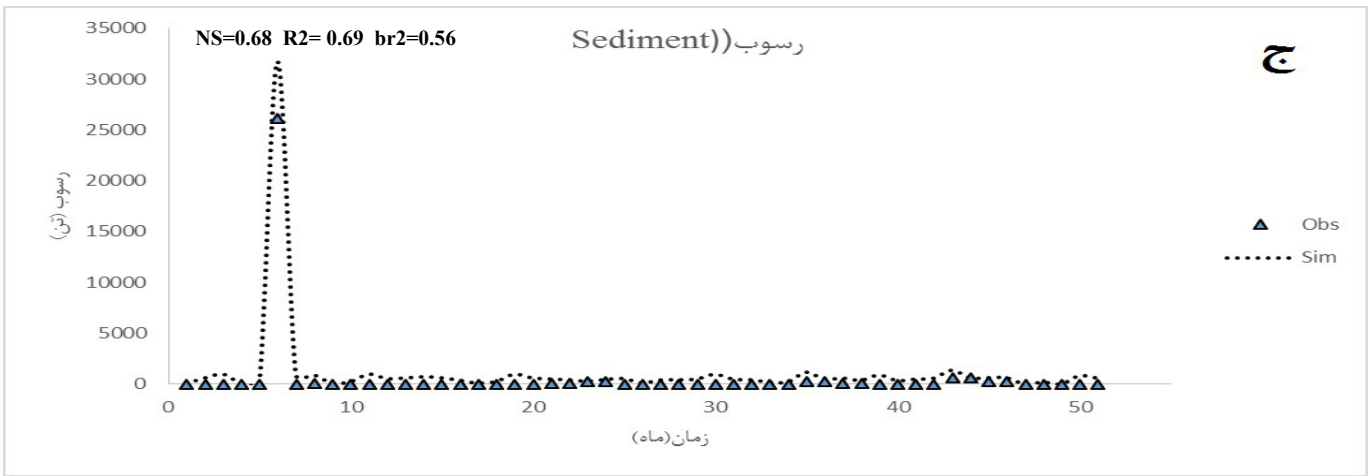
است. نتایج به‌دست‌آمده از مدل با نتایج سایر محققین همخوانی دارد[۱۳].

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تحلیل نتایج شبیه‌سازی، مشاهده می‌شود که مدل SWAT در شبیه‌سازی مقادیر رواناب، رسوب و تبخیر-تعرق واقعی عملکرد خوبی داشته است. با توجه به نتایج حاصله می‌توان به این امر اشاره کرد که استفاده از فیلتر گیاهی (نوار گیاهی) در مرز بین خشکی و آبراهه در کاهش بار رسوب مؤثر می‌باشد و به جلوگیری از پر شدن مخازن سدها و بندها کمک می‌کند. از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به کم بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و نبود ایستگاه سینوپتیک در منطقه نام برد. همچنین نبود نقشه خاک با دقت بالا از منطقه در نتایج شبیه‌سازی بی‌تأثیر نبوده است. یکی دیگر از محدودیت‌ها می‌توان به استفاده مدل از روش SCS برای برآورد



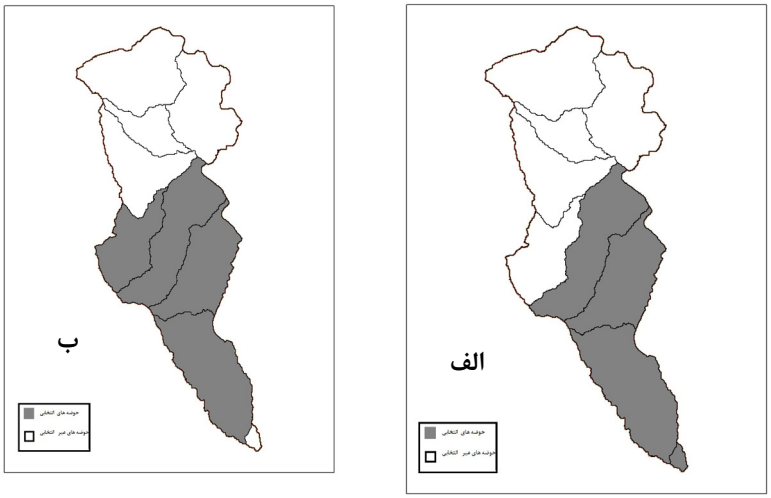




شکل ۵- نتایج شبیه‌سازی در کل دوره آماری (دوره واسنجی و اعتبارسنجی)

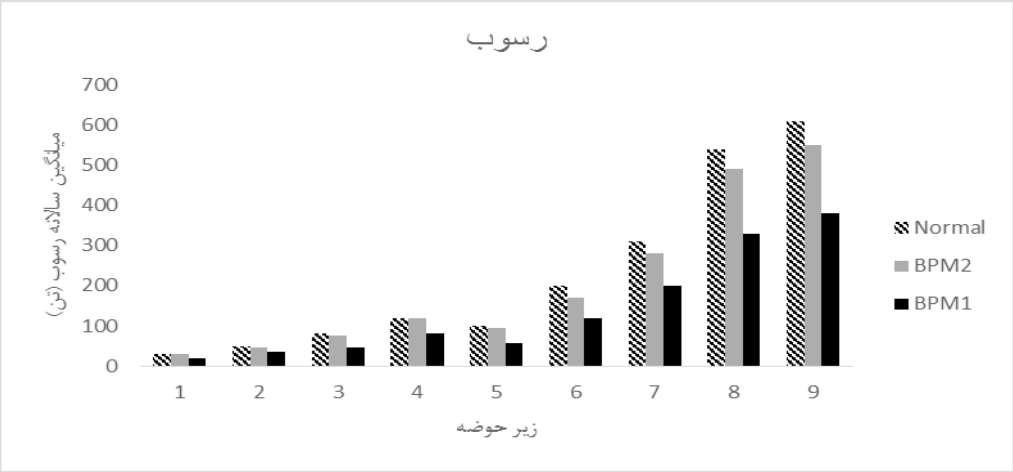
Figure 5. The simulation results in the entire period (the period of calibration and validation)

رواناب اشاره کرد، زیرا این روش در شبیه‌سازی ذوب برف ضعیف عمل می‌کند. برای بهبود نتایج در تحقیقات آینده می‌توان از نقشه خاک با دقت بالاتر و تعداد ایستگاه‌های بیشتر برای آمار هواشناسی استفاده کرد. همچنین می‌توان سناریوهای مختلف مدیریتی دیگر مانند طرح‌های آبخیزداری و مدیریت زراعی را برای مدل تعریف کرد و نتایج حاصل را برای مدیریت بهتر حوضه آبخیز بکار بست. درمجموع مدل نتایج مطلوبی را با توجه به محدودیت‌های ذکرشده ارائه کرد.



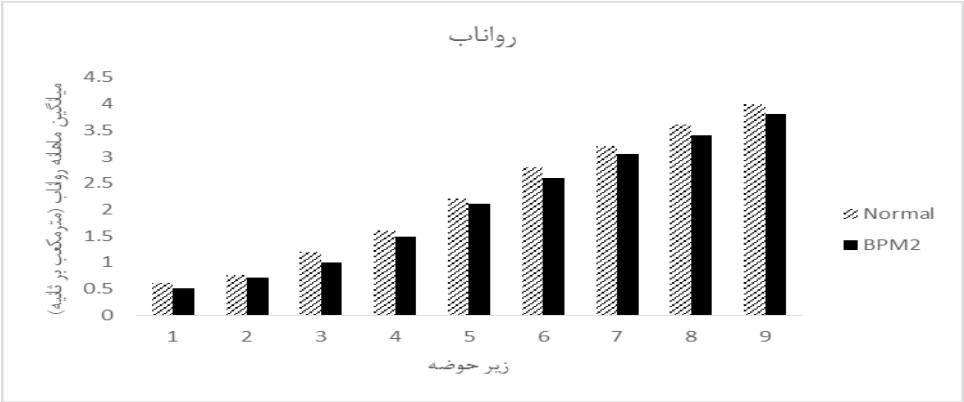
شکل۶- الف: زیر حوضه‌های که فیلتر گیاهی در آن‌ها استفاده‌شده است
ب: زیر حوضه‌های که تغییر کاربری اراضی در آن‌ها اعمال‌شده است

Figure 6. A; subbasin with filter strips
B; subbasin with land use changes



شکل۷- مقایسه مقدار میانگین رسوب سالیانه در حالت نرمال و سناریوهای BMP1وBMP2

Figure 7. Annual average sediment yield in normal, BMP1 and BMP2



شکل۸- مقایسه مقدار میانگین ماهیانه رواناب در حالت نرمال و سناریوBMP2

Figure 8.Monthly average runoff in normal and BMP2

منابع

1. 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 2-4,. 413-430.

2. Abbaspour, K. C. 2011. User Manual for SWAT-CUP4. SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Eawag, Duebendorf. Switzerland, from http://www.eawag.ch.

3. Beven, K.J., 2001. Rainfall-runoff modeling. the primer. Wiley. Chichester. UK. 361p.

4. Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R. and Yang, H. 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrological Processes. 23, 486–501.

5. Fontaine, T. A., Cruickshank, T. S., Arnold, J. G. and Hotchkiss, R. H. 2002. Developmnt of a snowfall-snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). Journal of Hydrology. 262 (1-4), 209-223.

6. Hantush, M. M. and Kalin, L. 2005. Uncertainty and sensitivity analysis of runoff and sediment yield in a small agricultural watershed with KINEROS2. Hydrological Sciences Journal. 50 (6), 1151-1172.

7. Jayakrishnan, R., Srinivasan, R., Santhi, C. and Arnold, J. G. 2005. Advances in the application of the SWAT model for water resources management. Hydrological Processes. 19, 749–762.

8. Li, K.Y., Coe, M.T., Ramankutty, N. and De Jong, R. 2007. Modeling the hydrological impact of land-change in West Africa, J. of Hydro., 337: 258-268.

9. Lirong, S. and Jianyun, Z. 2012. Hydrological Response to Climate Change in Beijiang River Basin Based on the SWAT Model. Procedia Engineering 28 (2012) 241 – 245

10. Lu, D. and Weng, Q. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. International Journal of Remote Sensing. 28(5):823–870.

11. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Binger, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 50 (3), 885-900.

12. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and Willams, J. R. 2005. Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation. Blackland Research Center. Texas Agricultural Experiment Statio. 494 p. from www.brc.tamus.edu

13..P.B Parajuli,. K.R.Mankin,.P.L Barnes., Applicability of targeting vegetative filer strips to abate fecal bacteria and sediment yield using SWAT., Agriculture water management., 2008

14. Sharpley, A. N. and Williams, J. R. 1990. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, 1. model documentation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech. Bull. 1768.

15. Singh,VP. 1995. "Watershed Modeling" In: Computer Models of Watershed Hydrology. Singh, V.P (ed.). Chapter 1, Water ResourcesPublications. Colorado, 1-22.

16. Wang, S., Shaozhong, K., Lu, Z. and Fusheng, L. 2008. Modelling hydrological response to different land-use andclimate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. J. Hydro. Proc., 22: 2502-2510.

نشریه علمی- پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 12, No. 40, Spring 2018
سال دوازدهم- شماره ۴۰- بهار ۱۳۹۷

Abstract

Simulation of Runoff, Sediment and Evapotranspiration through Management Scenarios to Reduce Sediment Load Using SWAT Model

M. S. Rezazdeh[1], B. Bakhtiari[2], K. Abbaspour[3] and M. M. Ahmadi[4]

Received:2015/06/27 Accepted : 2017/09/10

Investigation of sediment load, runoff, and evapotranspiration in watersheds is necessary for efficient use of soil, water resources, and design of appropriate management options. In this study, we used a SWAT model in Soltani basin at Baft to simulate runoff, actual evapotranspiration, and sediment load for two management scenarios during 1979 to 2012. The simulation results were evaluated using NS, R2 and BR2. For the calibration step, we obtained (0.74, 0.77, and 0.68) for runoff; (0.78, 0.81, and 0.69) for actual evapotranspiration; and (0.75, 0.73, and 0.66) for sediment load, respectively. The results indicated that, all three parameters were simulated quite well in calibration step. In validation step, were obtained (0.71, 0.7, and 0.59) for runoff; (0.74, 0.72, and 0.62) for actual evapotranspiration; and (0.68, 0.69, and 0.56) for sediment load, respectively. This again indicated a good performance of SWAT model. Two scenarios of land-use change and filter strips in the river banks, led to 7% and 38% reduction in sediment load, respectively.

Keywords: Filter strips, Land use change, Runoff, Semi distributed model

1- M.Sc Student, Water engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman. Corresponding Author Email: soheilrzzdh@hotmail.com
2- Assistant professor, Water engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman.
3- Researcher of EAWAG, Switzerland
4- Assistant professor, Water engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman.