DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2023.20269.1937

بررسی تأثیر سناریوهای آبخیزداری بر دبی و رسوب با استفاده از مدل SWAT در مناطق خشک و نیمه‌خشک

(مقالهٔ پژوهشی)

۱- احسان حامدی، دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- جواد چزگی*، استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

chezgi@birjand.ac.ir

۳- حمزه نور، استادیار، بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۸

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶

چکیده

سیل و فرسایش خاک از مهم‌ترین مشکلات حوزهای آبخیز کشور است که باعث هدر رفت خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش پوشش گیاهی، افزایش رواناب و سیلاب‌های شدید می‌گردد. عملیات‌های آبخیزداری شامل عملیات بیولوژیکی و میکانیکی می‌شوند که باعث حفاظت آب و خاک می‌شود، ولی برای این‌که مشخص شود در یک منطقه کدام روش و چه تعداد سازه تأثیرگذارتر است، نیاز به بررسی دارد. در این تحقیق برای بررسی تأثیر طرح‌های آبخیزداری بر فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز رودخانه سرباز استان سیستان و بلوچستان از مدل هیدرولوژیکی SWAT و سناریوسازی ساخت سازه‌های آبخیزداری در آبراهه‌ها استفاده شد. پس از آماده‌سازی مؤلفه‌ها و داده‌های ورودی، مدل برای یک دوره ۱۷ ساله (۱۹۹۹تا ۲۰۱۶) واسنجی‌شد. سپس طی یک دوره پنج ساله (۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱) صحت سنجی گردید. نتایج آنالیز حساسیت نشان داده پارامترهای آلفا در جریان برگشتی و شماره منحنی اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط در روش SCS بیشترین تاثیر را در واسنجی و صحت‌سنجی شبیه‌سازی داشته‌اند. نتایج بدست آمده از واسنجی رواناب با ضریب نش-ساتکیف ۰/۷۶ و ضریب تبیین ۰/۸۶ و برای رسوب به‌ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۵۸ بدست آمد. نتایج سناریو تأثیر سازه‌های آبخیزداری نشان‌دهندهٔ کنترل نزدیک ۱۵ درصد رسوب و تأییدکننده آن است که اقدامات آبخیزداری قادرند رواناب، فرسایش خاک و انتقال رسوب در منطقه را کاهش داده و کنترل نمایند. در این میان توجه به مسائل مالی طرح را باید در انتخاب سناریوهای آبخیزداری نیز در نظر داشت.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی، فرسایش، رسوب، سناریوسازی، شهرستان سرباز.

مقدّمه

فرسایش خاک پدیده‌ای است که از دیرباز به صورت طبیعی وجود داشته، اما نرخ و میزان آن از زمان شروع کشاورزی و دیگر فعالیت‌های انسان افزایش و در قرون اخیر شدت فزآینده‌ای یافته است. فرسایش خاک نه تنها سبب هدررفت خاک‌های با ارزش می‌شود بلکه با کاهش سطوح و بازدهی اراضی زراعی به کاهش تولیدات کشاورزی و پرشدن مخازن سدها از رسوب و وقوع سیلاب مخرب همراه با خسارات جانی و مالی بسیاری می‌شود [۱۵].

علت فرسایش خاک به شرایط اقلیمی (به ویژه بارش‌های رگباری)، توپوگرافی و شیب زمین، سنگ‌شناسی و فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری زمین، از بین بردن پوشش گیاهی، افزایش تولیدات کشاورزی، چرای بی‌رویه دام و غیره مربوط می‌شود [۱۲].

تفاوت بسیار زیاد بین میزان فرسایش خاک و تولید آن سبب شده که خاک به عنوان منبع غیرقابل تجدید در نظر گرفته شود. مدیریت خاک یک عنصر ضروری برای کشاورزی و منابع طبیعی پایدار و حفاظت از اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی می‌باشد [۹]. معمولاً طرح‌های آبخیزداری به منظور حفاظت آب و خاک و جلوگیری از فرسایش، بهبود شرایط زیست محیطی، کنترل رسوب و کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها، تغذیه سفره‌های زیرزمینی، کاهش خسارات ناشی از خشکسالی و غیره به مرحله اجرا درمی‌آیند. این اقدامات هزینه‌بر بوده و به همین دلیل ارزیابی میزان تأثیرگذاری آنها از اهمیت زیادی برخوردار است [۱۳]. ناگفته نماند که همه قسمت‌های حوزه آبخیز نیازمند اجرای طرح‌های آبخیزداری نیستند، و از طرفی به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی، اجرای طرح‌های آبخیزداری در تمام قسمت‌های حوزه آبخیز مقدور نمی‌باشد [۱۰، ۱۶].

از این رو، محققان انتخاب روش مناسب برای اجرای طرح‌های آبخیزداری را عامل موفقیت این طرح‌ها می‌دانند. تحقیقات زیادی برای شناسایی روش مناسب اقدامات آبخیزداری در نواحی مختلف گزارش شده است [۲۰]. روش‌های زیادی برای بررسی اثرات الگوهایی مکانی اجرای اقدامات مدیریت حوزه آبخیز بر مؤلفه‌های هیدرولوژی وجود دارد. روش مبتنی بر سناریو[1] یکی از روش‌های موجود در این زمینه است [۲۱، ۲۴].

آبخیزداری تلاشی برای کاهش تلفات آب، خاک و مواد مغذی از منابع غیرنقطه‌ای حوزه و تضمین تولید پایدار کشاورزی است [۲۷]. در سال‌های اخیر استفاده از این روش برای پیش‌بینی اثرات اقدامات آبخیزداری به کمک مدل‌های شبیه‌ساز هیدرولوژی گسترش زیادی داشته است [۲۴]. مهار فرسایش خاک و کاهش رسوب در حوزه‌های آبخیز نیازمند اجرای عملیات حفاظت آب و خاک در چهارچوب طرح‌های آبخیزداری می‌باشد. اجرای بهینه این عملیات مستلزم شناسایی مناطق بحرانی حوزه آبخیز از نظر فرسایش و رسوب و تمرکز عملیات حفاظتی در این مناطق است. برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد، ولی روشی مناسب‌تر است که اولاً، سریع، اقتصادی و نسبتاً دقیق باشد و ثانیاً، بتواند عامل‌ها و فرآیندهای اصلی مؤثر بر فرسایش و انتقال رسوب در سطح حوزه آبخیز را در نظر بگیرد. از این‌رو، استفاده از مدل‌های فرآیند محور و توزیعی مکانی برای شبیه‌سازی فرآیندهای حوزه آبخیز، رویکردی بهینه در زمینه برآورد فرسایش و رسوب و شناسایی مناطق مستعد فرسایش محسوب می‌شود [۲۸].

اندازه‌گیری فرسایش و رسوب بدلیل محدودیت‌های مالی، زمان‌بربودن و شرایط سخت فیزیکی، همواره دشوار بوده است. برای مقابله با این مشکل، استفاده از مدل‌ها را ضروری می‌کند. بیشتر آبخیزهای کوهستانی و صعب‌العبور کشور ما فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به میزان مورد نیاز هستند. از آنجا که از اطلاعات و آمار این ایستگاها در بخش‌های مختلف مدیریت آبخیز استفاده می‌شود شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی آبخیزها راه‌حل مناسبی برای مقابله با این کمبودهاست [۴].

امروزه مدل‌های هیدرولوژیکی زیادی برای کمک به محاسبه دبی آب و فرسایش و رسوب با دقت بیشتر، آسان‌تر و سریع‌تر از روش‌های سنتی اندازه‌گیری که نیاز به صرف هزینه و زمان زیاد دارند وجود دارد. یکی از این مدل‌ها، مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT[2]) است [۱۱]. مدل ارزیابی آب و خاک یک مدل جامع و کامل هیدرولوژیکی برای ارزیابی دبی جریان، میزان رسوب، عناصر غذایی و روش‌های مدیریتی است که بصورت گسترده در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفته است و در ایران نیز نتایج خوبی بدست داده است.

مدل سوات یک مدل در مقیاس حوزه آبخیز می‌باشد که توسط جف ارنولد و همکاران در سال ۱۹۹۸ ارائه شده است. این مدل می‌توانند به عنوان ابزارهای پیش‌بینی برای ارزیابی هدر رفت آب و خاک، برنامه‌ریزی حفاظت، موجودی فرسایش خاک و برنامه‌ریزی طرح‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۶].

از جمله توانایی‌های مدل SWAT شناسایی مناطق بحرانی مستعد فرسایش حوزه و اجرای بهترین شیوه‌های مدیریتی (BMP[3]s) برای کنترل تخریب حوزه با کاهش رسوبات و تلفات مواد مغذی ضروری است [۱۴]. بهترین

[1]. Scenario-based Approach

[2]. Soil and Water Assessment Tool

[3]. Best Management Practice

شیوه‌های مدیریتی به طور کلی به عنوان یک اقدام کنترل مؤثر برای منابع غیرنقطه‌ای رسوبات و مواد مغذی کشاورزی شناخته می‌شوند [۲۶]. مدل SWAT ابزاری است که تأثیر BMPها را بر رواناب، رسوبات و از دست‌دادن مواد مغذی در حوزه‌های آبخیز پیچیده پیش‌بینی می‌کند [۷].

با توجه به قابلیت‌های گسترده مدل SWAT در زمینه مطالعات آب و خاک، تا کنون تحقیقات زیادی با استفاده از این مدل در سراسر جهان صورت گرفته است که به جدیدترین آنها در مورد فرسایش و رسوب اشاره می‌شود.

در پژوهشی برای تحلیل روند و بررسی تغییرات سریع رواناب و رسوب سالانه حوضه مردق‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی، به ترتیب از آزمون‌های من‌کندال و پتیت برای رواناب و رسوب استفاده شد. برای شبیه‌سازی فرآیند هیدرولوژیکی از ابزار ارزیابی آب و خاک استفاده شد.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT برای رواناب و رسوب ماهانه انجام گردید. به طوری که برای رواناب ماهانه مقادیر پارامترهای NSE، PBIAS و R^2 در دوره زمانی واسنجی به ترتیب ۰/۶۴، ۱۹/۵ و ۰/۶۸ و در دوره صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۷۴، ۱۴/۵ و ۰/۷۵ تخمین زده شد. همچنین برای رسوب ماهانه، مقادیر پارامترهای NSE، PBIAS و R^2 در دوره زمانی واسنجی۰/۵۶، ۰/۸- و ۰/۵۶ و در دوره صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۹ و ۰/۵۵ برآورد شد. بررسی نتایج نشان داد که عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان و بار رسوب در دوره واسنجی و صحت‌سنجی مناسب است [۱].

در تحقیقی برای شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک و تخمین از دست دادن خاک و انتقال رسوب از مدل ارزیابی خاک و آب (SWAT) استفاده شد. بدین صورت ابتدا داده‌های واقعی در مورد فرسایش و انتقال رسوب از حوضه رودخانه Mogi Guaçu در جنوب شرقی برزیل برای صحت‌سنجی برآوردهای SWAT استفاده شد. این مطالعه نشان می‌دهد که این مدل قادر به شناسایی مناطق فرسایش‌شده خاک و تکرار مقیاس و الگوهای تنوع تولید رسوب است، از این رو، می‌توان آن را با موفقیت برای اولویت‌بندی مناطقی که نیاز به اقدام دارند و برای ارزیابی مدیریت جایگزین و شیوه‌های حفاظتی خاک برای کاهش فرآیندهای فرسایشی مورد استفاده قرار داد [۲۵].

در این تحقیق از مدل ارزیابی خاک و آب بدلیل توانایی بالا در شبیه‌سازی و سناریوسازی برای تخمین رواناب و رسوب استفاده شد. برای تعیین عملکرد عملیات آبخیزداری از سناریوسازی ساخت سازه‌های آبخیزداری در آبراهه‌ها (کاهش شیب ۱۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت.

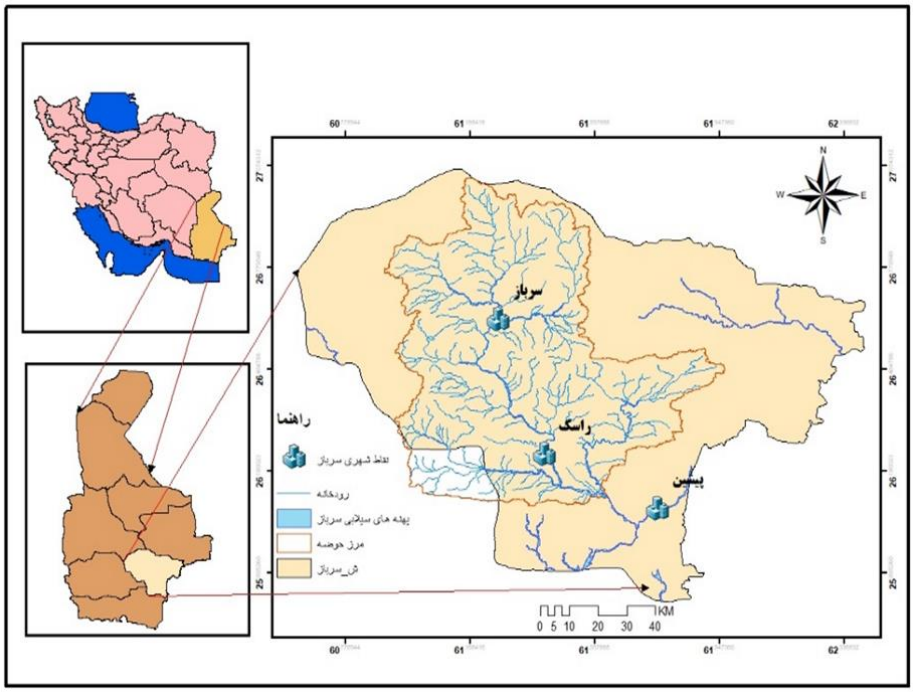
سناریوسازی عملیات آبخیزداری کمتر در حوزه‌های بزرگ و مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گرفته است. در حوزه‌های آبخیز بزرگ کاهش حداکثری رواناب و رسوب هزینه زیادی نیاز دارد. بدین منظور، در این تحقیق با کمترین هزینه که کاهش ۱۰ درصدی شیب آبراهه اصلی مورد استفاده قرار گرفت که کمتر در تحقیقی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در حوزهٔ آبخیز سرباز واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفته است، حوزه آبخیز سرباز در قسمت‌های جنوبی استان سیستان و بلوچستان و در جنوب شرقی ایران در محدودهٔ بین۶۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و از زیر حوضه‌های دریای مکران محسوب می‌شود (شکل ۱).

این حوزه از شمال به حوزه آبخیز زابلی و هامون و جازموریان، از جنوب به حوضه آبریز باهوکلات و از غرب به حوضه آبریز قصر قند محدود می‌گردد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز منطقه مورد مطالعه در ایران و استان سیستان و بلوچستان

رودخانه سرباز از ارتفاعات مکران در جنوب سیستان و بلوچستان سرچشمه می‌گیرد و با شاخه‌های زیادی که دارد بیشتر رواناب‌های منطقه کوهستانی جنوب بلوچستان را زهکشی می‌کند و در جهت شمال به جنوب جریان می‌یابد و پس از مشروب‌ساختن مناطقی همچون سرباز، پیشین، دشتیاری و باهوکلات به خلیج گواتر در دریای مکران می‌ریزد. مساحت حوزه در بالادست ایستگاه پیشین در حدود ۶۸۵۰ کیلوکتر مربع می‌باشد. در این منطقه به دلیل عدم‌ریزش برف و عدم‌وجود آبرفت‌های ضخیم، همهٔ رودها فصلی و موقتی تلقی می‌شوند. بدین ترتیب رودخانه سرباز مهم‌ترین رودخانه منطقه محسوب می‌شود [۱۱].

معرفی مدل SWAT

مدل SWAT مدلی در مقیاس حوزه آبخیز می‌باشد که توسط جف آرنولد و همکاران در سال ۱۹۹۸ برای اداره تحقیقاتی کشاورزی آمریکا برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوزه‌هایی با کاربری اراضی، خاک و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است [۶].

آماده‌سازی و اجرای مدل

پیش‌نیاز اجرای مدل، آماده‌کردن ورودی‌ها در محیط برنامه ArcSWAT مطابق با راهنمای مدل [۱۹] می‌باشد. ابتدا نقشه DEM منطقه مورد مطالعه به مدل معرفی می‌شود. سپس با مشخص‌کردن نقطه خروجی حوزه آبخیز، ۲۱ زیرحوضه‌ها مشخص و مشخصات فیزیوگرافی آنها محاسبه گردید.

در گام بعدی برای تهیه واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU)، نیازمند به واردکردن لایه‌های نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک و نقشه شیب منطقه مورد مطالعه به مدل می‌باشد. در ادامه، داده‌های اقلیمی وارد مدل می‌گردد. پس از ورود اطلاعات مورد نیاز مدل، بانک اطلاعاتی تکمیل و مدل برای شبیه‌سازی در مقیاس آبخیز آماده شد. لازم به ذکر است که دوره گرم‌کردن[1] مدل، واسنجی[2] مدل و اعتبارسنجی[3] مدنظر قرار گرفت.

بازه زمانی مورد استفاده در این تحقیق به مدت ۲۵ سال از ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۲ میلادی که به مدت ۱۷ سال از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۱۶ برای واسنجی مدل در نظر گرفته شد، بطوری که دو سال برای گرم‌کردن مدل

[1]. Warm up
[2]. Calibration
[3]. Validation

(۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹) و ۵ سال آخر برای صحت‌سنجی (۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲) استفاده گردید. در ادامه با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهیانه ایستگاه پیشین واقع در خروجی حوضه با ۵۰۰۰ شبیه‌سازی در ۷ تکرار در نرم‌افزار SWAT-CUP انجام گرفت.

SWAT-CUP بسته نرم‌افزاری توسط عباس‌پور و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور سهولت در واسنجی مدل SWAT ایجاد شده است. یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد در SWAT-CUP الگوریتم SUFI-2 می‌باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت [۲].

ارزیابی دقت مدل SWAT در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

در این تحقیق، کارآیی مدل با مقایسه نمودن نتایج مشاهداتی و استفاده از معیار ضریب نش-ساتکلیف با استفاده از رابطه (۱) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(Obs_i - Sim_i)^2}{\sum_{t=1}^{n}(Obs_i - \overline{Obs})^2} \quad (۱)$$

که در آن: Sim_i مقادیر متغیرهای شبیه‌سازی شده، Obs مقادیر متغیرهای مشاهداتی، $\overline{Obs_i}$ مقدار متوسط متغیر مشاهداتی و n تعداد داده‌های نظیر در مقادیر جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی هستند. در ضریب نش-ساتکلیف، مقدار یک، نشان‌دهنده انطباق کامل نتایج شبیه‌سازی‌شده توسط مدل SWAT و مقادیر مشاهداتی است و هرچه مقادیر ضریب تبیین بیش‌تر باشد نشان‌دهندهٔ توانایی بیش‌تر مدل خواهد بود [۱۸].

بهترین شیوه‌های مدیریت (BMPs) از طریق سناریوسازی در مدل‌های سطح حوزه برای شبیه‌سازی اثرات سناریوهای مداخله حوزه بر عملکرد رسوب و رواناب اجرا می‌شود [۵]. در این تحقیق نیز برای مدیریت و حفاظت آب و خاک برای حفظ، کنترل و کاهش سیلاب و فرسایش از سناریوی سازه‌های آبخیزداری در آبراهه‌ها استفاده شد.

هدف از این تحقیق، کاهش رواناب و فرسایش و رسوب با استفاده از کاهش شیب آبراهه اصلی به مقدار ۱۰ درصد با استفاده از سازه‌های آبخیزداری سنگی ملاتی است که این هدف پس از شبیه‌سازی و اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل در بخش مدیریت داده (mgt) سناریوسازی مدل اعمال گردید.

نتایج

پس از ساخت مدل و شبیه‌سازی حوزه آبخیز توسط مدل SWAT، جهت واسنجی و صحت‌سنجی از SWAT-CUP استفاده شد. قبل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل مؤلفه‌هایی که تأثیر بیشتری بر دبی و رسوب ماهانه حوضه داشتند بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای انتخاب گردیدند که این مؤلفه‌ها با توجه با نتایج پژوهش‌ها و مطالعات صورت گرفته پیشین انتخاب گردیدند و تحلیل حساسیت بر روی آنها صورت گرفت [۲۲،۲۳].

پس از انجام تحلیل حساسیت بر روی ۲۰ مؤلفه انتخابی ۱۰ پارامتر از حساس‌ترین مؤلفه‌ها برای مرحله واسنجی انتخاب گردیدند که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

نتایج جدول ۱ نشان داد که شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط موثرترین و حساسترین پارامتر در بین این ۱۰ پارامتر است.

پس از تهیه مؤلفه‌های حساس، مدل SWAT برای انجام واسنجی به مدت ۱۷ سال از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۱۶ ضمن در نظر گرفتن دو سال برای Warm up (۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹) با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهیانه ایستگاه پیشین واقع در خروجی حوزه با ۵۰۰۰ شبیه‌سازی در ۷ تکرار انجام گرفت که نتایج مطلوبی بدست آمد که در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

نتایج جدول ۲ نشان داد که مدل برای دبی در مرحله واسنجی براساس طبقه‌بندی توصیفی ارائه شده توسط موراسی[1] و همکاران (۲۰۰۷) مقدار معیار نش-ساتکلیف بین ۰/۷۵ تا ۱ در کلاس خیلی خوب، از ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ در کلاس خوب و از ۰/۵۰ تا ۰/۶۵ در کلاس قابل قبول قرار دارد [۱۷] که با توجه به نتایج بدست آمده از واسنجی ۰/۷۶ که در کلاس خیلی خوب قرار گرفته است، بطوری که برای رسوب در کلاس قابل قبول قرار گرفته است.

[1]. Moriasi

جدول ۱- مؤلفه‌های انتخابی جهت انجام مرحله واسنجی

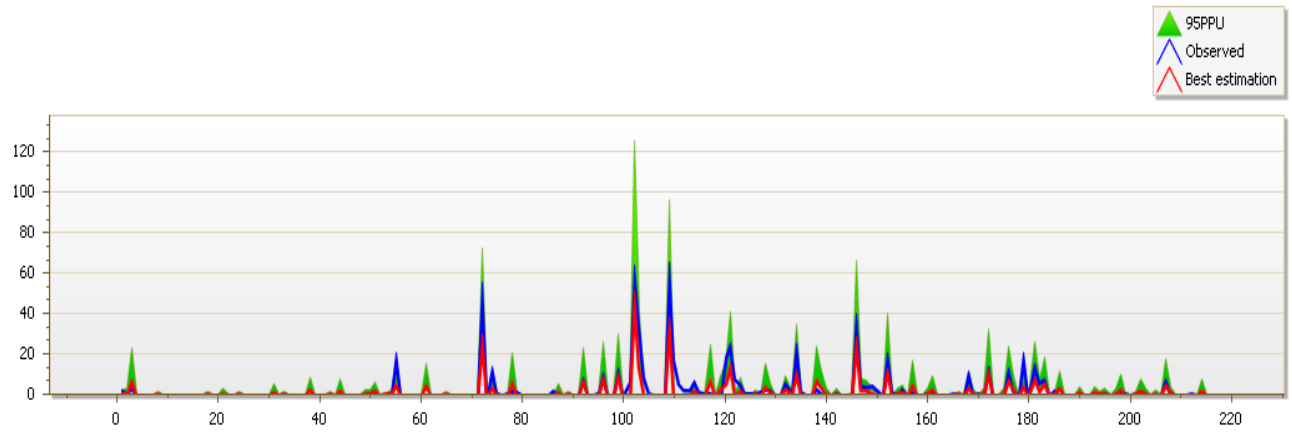
ردیف	پارامتر	توضیحات
۱	r-CN2.mgt	شماره منحنی CN در روش SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط
۲	v_ALPHA_BF.gw	پارامتر الفا در جریان برگشتی
۳	r_SOL_AWC().sol	مقدار آب قابل دسترس (mm)
۴	v_CH_K2.rte	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر در کانال اصلی (mm/h)
۵	r_HRU_SLP.hru	شیب متوسط زمین در هر میلی‌متر
۶	v_GW_DELAY.gw	زمان تأخیر برای تغذیه آبخوان (روز)
۷	v_GW_REVAP.gw	ضریب تبخیر آب زیرزمینی
۸	v_EPCO.hru	فاکتور جریان برداشت آب گیاه
۹	v-REVAPMN.gw	حداقل مقدار ذخیره آب در سفره کم عمق که برای شروع تبخیر آب زیر زمینی از طریق مویینگی یا تغذیه سفره عمیق لازم است (mm)
۱۰	v_RCHRG_DP.gw	ضریب انتقال از سفره کم عمق به عمیق

جدول ۲- نتایج واسنجی میانگین دبی و رسوب ماهیانه ایستگاه پیشین از ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۶ میلادی

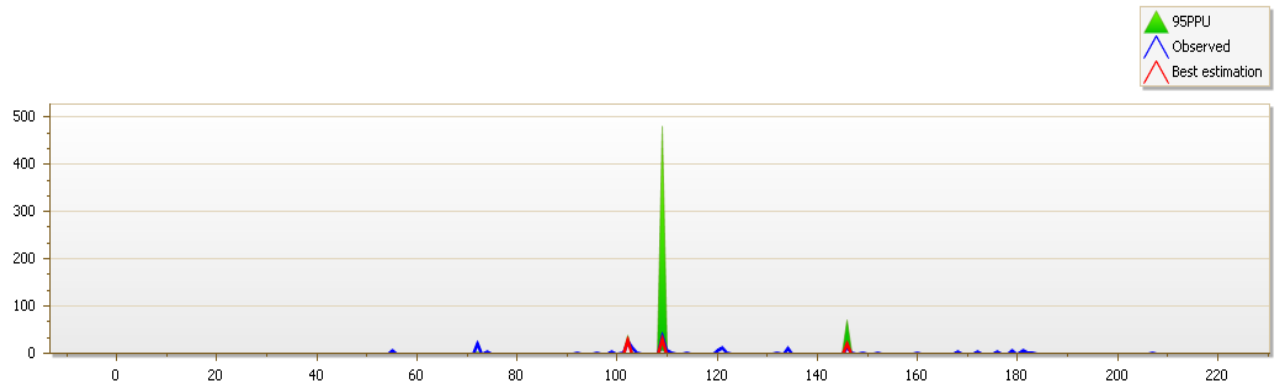
مؤلفه هیدرولوژیک	NS	R^2
FLOW-OUT	0.76	0.86
SED-OUT	0.53	0.58

نمودار میانگین دبی و رسوب ماهیانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین واسنجی به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. پس از اتمام واسنجی، صحت‌سنجی مدل همانند دوره واسنجی اما با این تفاوت که در صحت‌سنجی از دامنه مؤلفه‌های بهینه شده از مرحله واسنجی استفاده گردید، انجام شد. این مرحله با طول دوره آماری ۵ سال (۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهیانه ایستگاه پیشین انجام گرفت (جدول ۳). نتایج جدول ۳ نشان داد که در مرحله صحت‌سنجی دبی و رسوب در کلاس قابل قبول قرار دارند.

نمودار میانگین دبی و رسوب ماهیانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



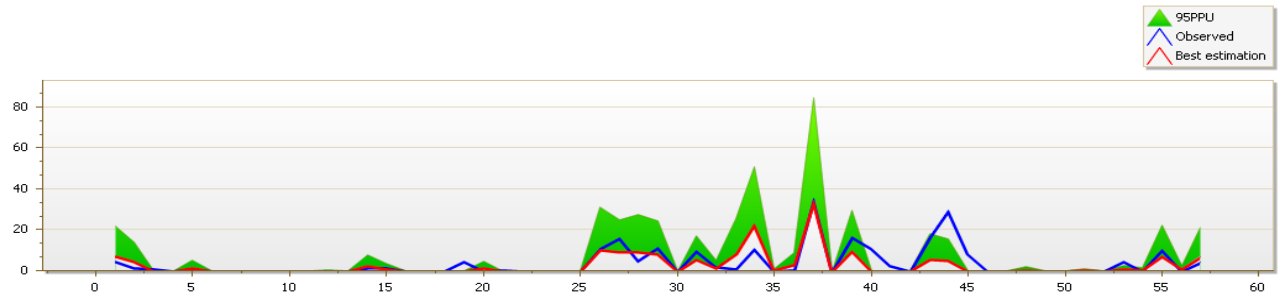
شکل ۲- نمودارمیانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه پیشین حاصل‌از واسنجی از سال ۱۹۹۹تا ۲۰۱۶



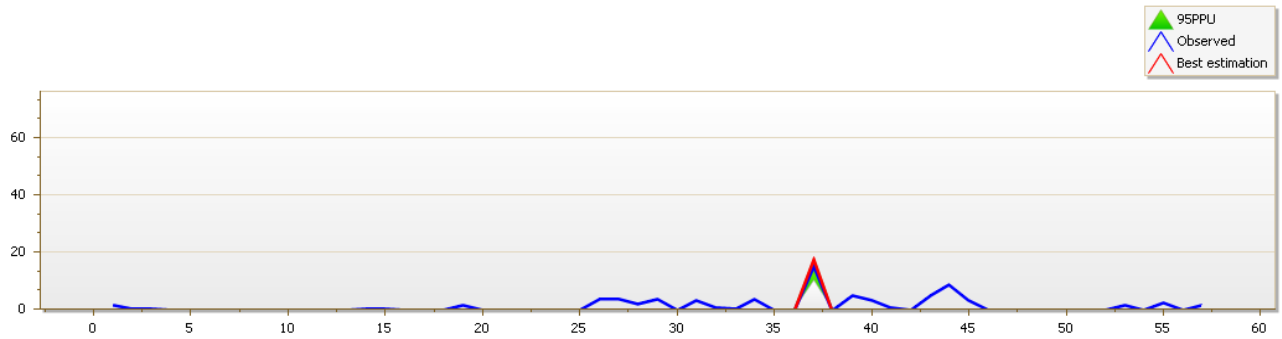
شکل ۳- نمودارمیانگین رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه پیشین حاصل از واسنجی از سال ۱۹۹۹تا ۲۰۱۶

جدول ۳- نتایج صحت سنجی دبی ماهیانه ایستگاه پیشین از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱

R^2	NS	مؤلفه هیدرولوژیک
0.58	0.56	FLOW-OUT
0.53	0.55	SED-OUT



شکل ۴- نمودار میانگین دبی ماهیانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حاصل صحت‌سنجی از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲



شکل ۵- نمودار میانگین رسوب ماهیانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حاصل صحت‌سنجی از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲

با توجه به نتایج بدست آمده از مرحله واسنجی و صحت‌سنجی که دقت مدل در شبیه‌سازی در کلاس خوب و قابل قبول قرار گرفت، توانایی مدل در انجام سناریوسازی مورد قبول می‌باشد [۲].

بنابراین در این تحقیق، دو سناریو و یک شاهد که شرایط حال را بیان می‌کند، اجرا گردید (جدول ۴).

سناریوی شاهد و بدون تغییر

این سناریو به عنوان سناریوی بدون تغییر و سناریوی شاهد مدنظر قرار خواهد گرفت تا با خروجی سایر سناریوهای اعمالی مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد (شکل ۶).

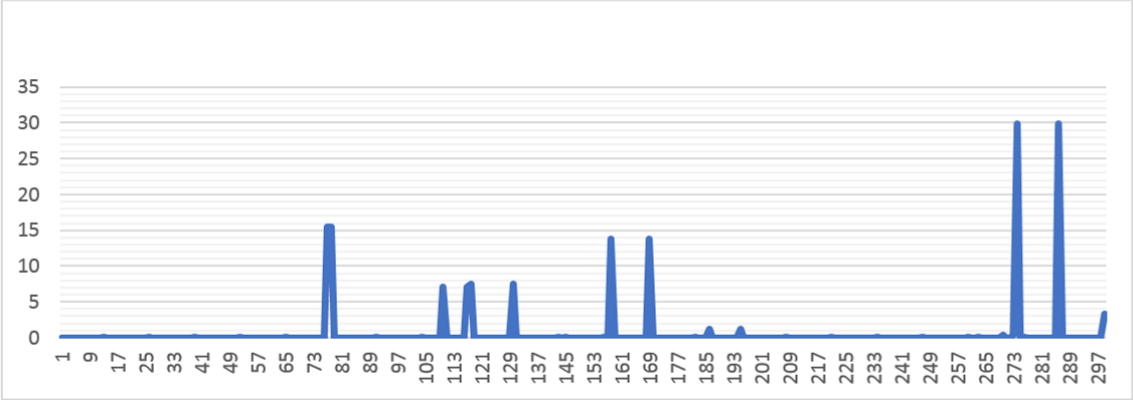
سناریوی احداث سازه‌های آبخیزداری در آبراهه

با توجه به هیدروگراف (شکل ۷) نقاط اوج دبی کاهش یافته و سناریو احداث سازه‌هایی آبخیزداری در حوزه مورد مطالعه به

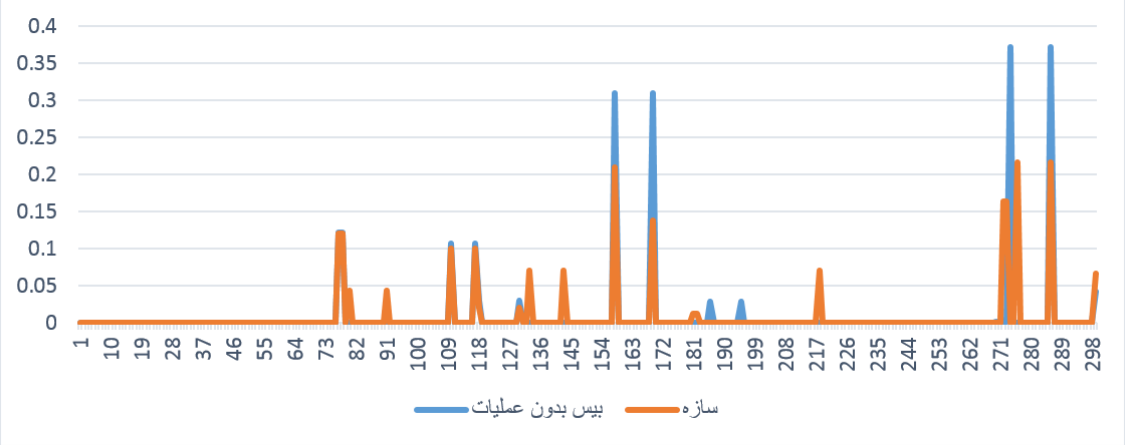
خوبی توانسته است پیک‌های اوج ماهانه سیل را کاهش دهد و میزان ۱۵درصد از رسوب را کاهش دهد. نتایج نشان داد که بیشتر کاهش‌ها در دبی‌های پیک بوده است اتفاق افتاده است که می‌تواند بخاطر استفاده‌شدن همه سازه‌ها در آبراهه اصلی باشد (شکل ۶).

جدول ۴- سناریوهای مورد استفاده در تحقیق

شماره	سناریو	سازه
۱	سناریوی شاهد (بدون تغییر)	سناریوی شاهد (بدون تغییر)
۲	سناریوی احداث سازه‌های آبخیزداری در آبراهه اصلی	۱۸۵ سازه سنگی ملاتی ۳ متر مفید برای کاهش ۱۰ درصدی شیب



شکل ۶- نمودار نقاط اوج سناریوی شاهد



شکل ۷- نمودار سناریوی احداث سازه‌های آبخیزداری

بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های مدیریت زمین و حفاظت آب و خاک بدون خاک‌ورزی برای کاهش سیل، فرسایش و رسوب و آلودگی آب ناشی از فعالیت‌های انسان استفاده می‌شود. مدل‌ها ابزارهای مفیدی برای بررسی اثرات چنین روش‌های مدیریتی جایگزین بر سطح حوزه هستند. با این حال، کمتر مدلی مانند SWAT دارای حساسیت به مؤلفه‌های مورد استفاده برای نشان‌دادن این شیوه‌های حفاظتی وجود دارد، چون آنالیز حساسیت مؤلفه‌ها به مدل‌ها کمک می‌کند تا اثرات مدیریت زمین را بهتر شبیه‌سازی کنند.

از این رو، این مقاله در مرحله اول یک تحلیل حساسیت برای مؤلفه های تأثیرگذار در شبیه‌سازی و در ادامه برای سناریوهای بیولوژیکی و مکانیکی اعمال گردید. بدین صورت که ابتدا ۲۰ مؤلفه مؤثر براساس مطالعات کتابخانه‌ای آماده و وارد مدل گردید. پس از آنالیز حساسیت ۱۰ پارامتر که بیشترین تأثیر را داشتند انتخاب

شدند که مهم‌ترین آنها پارامتر الفا در جریان برگشتی، شماره منحنی در روش SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط و مقدار آب قابل دسترس بدست آمد. از بین شماره منحنی در روش SCS حساس‌ترین پارامتر شناخته شد که با نتایج [۲۱، ۲۲، ۲۳] همخوانی دارد.

نتایج بدست آمده از واسنجی رواناب با ضریب نش-ساتکیف ۰/۷۶ و ضریب تبیین ۰/۸۶ و برای رسوب به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۵۸ بدست آمد. طبق طبقه‌بندی توصیفی ارائه شده [۱۷] مقدار معیار نش-ساتکلیف در مرحله واسنجی در کلاس خیلی خوب و در صحت‌سنجی قابل قرار گرفته است که نشان توانایی مدل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که با نتایج سایر تحقیقات انجام شده از جمله با محققان [۲۱، ۱۱، ۳، ۸،۲۸، ۲۹] دقت مدل در شبیه‌سازی قابل قبول می‌باشد، مطابقت دارد.

شیوه‌های مدیریت (BMPs) و حفاظت آب و خاک متنوعی برای کنترل و کاهش سیلاب و فرسایش می‌توان ارائه و سناریوهای ترکیبی انجام داد و از طریق مدل برای شبیه‌سازی اثرات سناریوهای مداخله حوزه بر عملکرد رسوب و رواناب اجرا کرد. در هر منطقه و کشور بنا به نوع مدیریت و هدف آن سناریوها ارائه می‌شود. در این تحقیق از یک سناریو مکانیکی سازه‌های آبخیزداری در آبراهه‌ها استفاده شد.

نتایج سناریو تأثیر سازه‌های آبخیزداری نزدیک ۱۵ درصد سیل و رسوب را کنترل کرده است. این نتایج نشان‌دهنده آن است که اقدامات آبخیزداری قادرند رواناب، فرسایش خاک و انتقال رسوب در منطقه را کاهش داده و کنترل نمایند. بطوری که روش‌های بیولوژیک و مکانیکی می‌توانند ترکیبی هم استفاده شوند تا مؤثرتر باشند.

چون در منطقه مورد مطالعه بیشتر بارش‌های بصورت رگبار و بارش‌های مونسون هند می‌باشد روش‌های مکانیکی حتماً باید در نظر گرفته شود. در این میان، توجه به مسائل مالی طرح را باید در انتخاب سناریوهای آبخیزداری نیز در نظر داشت. در آخر، باید توجه داشت که اقدامات آبخیزداری تأثیر زیادی بر افزایش پوشش گیاهی و پایداری و حفظ آب و خاک منطقه می‌شود. نتایج که این تحقیق نشان داد سیل و رسوب را تا ۱۵ درصد کاهش می‌دهد که حفظ آب و خاک برای مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار حائز اهمیت است، چون فرآیند تشکیل خاک بسیار طولانی و یا در بعضی مناطق غیرممکن می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل SWAT 2012 در شبیه‌سازی حوزه‌آبخیز سرباز به خوبی عمل کرده‌است و می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی حوزه‌های آبخیز بزرگ با شرایط پیچیده و ناهمگن همچون حوزه‌آبخیز سرباز با مساحت ۶۸۵۰ کیلومتر مربع به شرط داشتن داده‌های ورودی با دقت مناسب استفاده کرد.

تقدیر و تشکر

بر خود فرض و لازم می‌دانیم از ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری و شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان بابت حمایت‌ها و همکاری در تأمین داده‌های مورد نیاز، تقدیر و تشکر نمایم.

References

[1]. Abbasi, H., Aalami, M., faraji, M. (2022). Investigation of the Discharge and Sediment Load Trend in Mordaghchai Using Non-Parametric Tests. *Hydrogeomorphology*, *9*(32), 104-87. doi: 10.22034/hyd.2022.50176.1626. [in Farsi]

[2]. Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., Klove, B. A. (2015). 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. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027

[3]. Aghakhani, M., Nasrabadi, T., & Vafaei Nejad, A. (2019). Hydrological Simulation of Taleqan Watershed Using SWAT. *Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(9), 147-159. doi: 10.22034/jest.2020.26325.3576 [in Farsi]

[4]. Ahmedabadi, A., Kayani, T., Ghafurpour Anbaran, P. (2017). The effects of watershed management practices in Hydro-geomorphological characteristics in

Anbaranchay watershed. *Journal of Spatial Planning*, *21*(2), 35-55. [in Farsi]

[5]. Anteneh, Y., Alamirew, T., Zeleke, G. Kassawmar, T. (2023). Modeling runoff-sediment influx responses to alternative BMP interventions in the Gojeb watershed, Ethiopia, using the SWAT hydrological model. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 22816–22834. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23711-4

[6]. Arnold, J. G. (2001). Soil and water Assessment tool (Appendix A: Model fact sheets), http:// www. brc.tamus.edu/ SWAT /index.htm.

[7]. Arnold, J. G., and Fohrer, N. (2005) SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modeling. *Hydrological Processes*, 19, 563-572. https://doi.org/10.1002/hyp.5611

[8]. Barati, F., Hosseini, M., Sarmi, A., Mokhtari, A. (2019). Simulation of hydrological balance of Eskandari watershed using SWAT model and SUFI algorithm. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, *14*(48), 90-99. [in Farsi]

[9]. FAO and ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf.

[10]. Giri, S., Nejadhashemi, A.P., Woznicki, S.A., Zhang, Zh. (2014). Analysis of best management practice effectiveness and spatiotemporal variability based on different targeting strategies. *Hydrological Processes*, 28, 431–445

[11]. Gorgij, K. (2018). Hydrological simulation of Sarbaz watershed using SWAT model. Master's thesis, Zabul University. 123 p. [in Farsi]

[12]. Gull, S., MA, A., Dar, A.M., (2017). Prediction of Stream Flow and Sediment Yield of Lolab Watershed Using SWAT Model. *Hydrology Current Research*, 8(1), 1-9.

[13]. Heshmati, M., Gheitouri, M., Shadfar, S. (2019). Technical Evaluation of Watershed Management Measures in Razin Watershed, Kermanshah, Iran. *Journal of Watershed Management Research*, *9*(18), 26-35. [in Farsi]

[14]. Himanshu, S. K., Pandey, A., Yadav, B., Gupta, A. (2019). Evaluation of best management practices for sediment and nutrient loss control using SWAT model. *Soil and Tillage Research*, 192, 42-58. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.016

[15]. Karam, A., Safarian, A., Hajjafarushnia, Sh. (2010). Estimation and zoning of soil erosion in Mamlo basin (east of Tehran) using the methods of modified global equation of soil erosion and hierarchical analysis process. *Researches in Earth Sciences*, *1*(2), 73-86. [in Farsi]

[16]. Maringanti, C., Chaubey, I., Popp, J. (2009). Development of a multiobjective optimization tool for the selection and placement of best management practices for nonpoint source pollution control. *Water Resources Research*, 45, 1-15.

[17]. Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R., Veith, T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE 50*(3), 885- 900.

[18]. Nash, J., Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.

[19]. Neitsch, S. L., Williams, J. R., Arnold, J. G., & Kiniry, J. R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute, College Station.

[20]. Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., Mimikou, M. (2012). Decision support for diffuse pollution management. *Environmental Modelling and Software*, 30, 57-70.

[21]. Parvizi, S., Talebi, A., & Mandegar, A. (2022). Investigation of the water balance of Fakhrabad watershed using SWAT model. *Journal of Arid Biome*, *12*(1), 21-33. doi: 10.29252/aridbiom.2022.16619.1852 [in Farsi]

[22]. Pradhanang, S. M., Anandhi, A., Mukundan, R., Zion, M. S., Pierson, D. C., Schneiderman, E. M., Matonse, A., Frei, A. (2011). Application of SWAT model to assess snowpack development and

streamflow in the Cannonsville watershed, New York, USA. *Hydrological Processes, 25*(21), 3268-3277. https://doi.org/10.1002/hyp.8171

[23]. Rahman, K., Maringanti, C., Beniston, M., Widmer, F., Abbaspour, K., Lehmann, A. (2013). Streamflow Modeling in a Highly Managed Mountainous Glacier Watershed Using SWAT: The Upper Rhone River Watershed Case in Switzerland. *Water Resources Management*, 27, 323-339.

[24]. Sadoddin, A., Sheikh, V., Mostafazadeh, R., & Halili, M. (2012). Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran. *International Journal of Plant Production*, *4*(1), 51-62. doi: 10.22069/ijpp.2012.681.

[25]. Santos, F. M, Natália, S. P., Rodrigo, P. O., Lollo, J. A. D. (2023). Using the SWAT model to identify erosion prone areas and to estimatesn soil loss and sediment transport in Mogi Guaçu River basin in Sao Paulo State, Brazil, *CATENA*, 222, 106872. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106872

[26]. Tripathi, M. P., Panda, R. K., Raghuwanshi, N. S. (2005). Development of effective management plan for critical subwatersheds using SWAT model. *Hydrological Process*, 19(3), 809-826. https://doi.org/10.1002/hyp.5618

[27]. Wang, W., Yujing Xie, Y., Xie, Mengfei Bi, M. Bi, Xiangrong Wang, X. Wang, Yi Lu, Y. Lu, & Zhengyi Fan, Z. Fan. (2018). Effects of best management practices on nitrogen load reduction in tea fields with different slope gradients using the SWAT model. *Applied Geography*, 90, 200-213. doi: 10.1016/j.apgeog.2017.08.020

[28]. Zare Garizi, A., Talebi, A., & Faramarzi, M. (2016). Identification and prioritization of critical areas of soil erosion and sediment using SWAT model. *Watershed Engineering and Management*, *8*(4), 350-361. doi: 10.22092/ijwmse.2016.107183 [in Farsi]

[29]. Zarezade Mehrizi, S. O., Khoorani, A., Bazrafshan, J., & Bazrafshan, O. (2017). Assessing the efficiency of SWAT model for runoff simulation in Gamasiyab basin. *Journal of Range and Watershed Managment*, *70*(4), 881-893. doi: 10.22059/jrwm.2018.243898.1174 [in Farsi]

The effect of watershed management scenarios on discharge and sedimentation with SWAT model in arid and semi-arid regions (Research Paper)

1- Ehsan Hamedi, MSc. student, Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand. Iran.
2- Javad Chezgi*, Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand. Iran.
chezgi@birjand.ac.ir
3- Hamzeh Noor, Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management, Khorasan Razavi Agricultural Research and Training Center, Agricultural Research, Training and Promotion Organization, Mashhad, Iran.

Received: 30 Sep. 2022
Accepted: 07 Nov. 2022

Abstract
Flooding and soil erosion are a significant issue in the watershed areas of Iran. The result of this is soil lost, soil fertility decreases, vegetation decreases, run-off increases, and severe floods. There are various watershed operations, including biological and mechanical, which protect water and soil, however, it is necessary to investigate which method and how many structures should be used in an area to be more effective. In this research, SWAT hydrological model and scenario building of watershed structures in waterways were used to investigate the impact of watershed management projects on erosion and sedimentation in Sarbaz River watershed, Sistan and Baluchistan province. After preparing the input parameters, the model was recalibrated for a 17-year period (1999-2016) and then validated over a five-year period (2017-2021). The results of the sensitivity analysis showed that the alpha parameters in the return flow and the initial curve number for medium humidity conditions in the SCS method had the greatest effect on the calibration and validation of the simulation. The results obtained from runoff calibration were 0.76 Nash- Sutcliffe coefficient and 0.86 explanation coefficient, and 0.53 and 0.58 respectively for sediment. The scenario's results have regulated the impact of watershed structures on nearly 15% of the sediment. Watershed measures are capable of reducing and controlling runoff, soil erosion, and sediment transfer in the region, as demonstrated by these results. In the meantime, attention should also be given to the financial issues of the plan when selecting watershed scenarios.

Keywords: Simulation, Erosion, Sedimentation, Scenario, Discharge, Sarbaz city.