

## ارزیابی نرخ فرسایش و رسوب در کاربری‌های مختلف حوضه آبخیز تمر استان گلستان با استفاده از مدل SWAT

فرشاد کیانی<sup>۱\*</sup> - بهروز بهتری نژاد<sup>۲</sup> - علی نجفی نژاد<sup>۳</sup> - عبدالرضا کابلی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۲

### چکیده

یکی از معضلات بخش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی کشور مشکل فرسایش شدید خاک می‌باشد. با توجه به وجود پهنه وسیع اراضی لسی که دارای ماهیتی فرسایش‌پذیر می‌باشند، مدیریتی منسجم در این راستا را می‌طلبد. حوضه مورد مطالعه در شرق استان گلستان واقع شده است و مساحتی در حدود ۱۵۲۴ کیلومتر مربع دارد. در این مطالعه از مدل SWAT جهت شبیه‌سازی فرسایش و رسوب استفاده گردید. واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی، توسط SWAT-CUP و الگوریتم SUFI-2 در حوضه انجام شد. مقادیر شبیه‌سازی شده عموماً با مقادیر مشاهداتی دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری تمر طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی همخوانی داشتند. برای دبی خروجی حوضه ضرائب NS، R<sup>2</sup>، R-factor و P-factor به ترتیب برای واسنجی ۰/۷۶، ۰/۷۷، ۰/۰۶ و ۶۹ و برای اعتبارسنجی ۰/۷۵، ۰/۷۲، ۰/۰۵ و ۶۹ به دست آمد. برای رسوب ضرائب NS، R<sup>2</sup>، R-factor و P-factor به ترتیب برای واسنجی ۰/۵۴، ۰/۶۲، ۰/۱۵ و ۱۶ و برای اعتبارسنجی ۰/۵۵، ۰/۶۱، ۰/۳۵ و ۱۲ بود. نتایج نشان داد که کشاورزی آبی با متوسط فرسایش و رسوب به ترتیب ۲۴/۹۵ و ۱۵/۵۶ تن در هکتار و کشاورزی دیم با متوسط فرسایش و رسوب به ترتیب ۲۰/۲۳ و ۱۲/۳۳ تن در هکتار بیشترین مقدار فرسایش و رسوب را دارند. همچنین مدل وضعیت فرسایش حوضه را با مقدار رسوب ویژه (۶/۴۹ تن در هکتار) و فرسایش (۱۰/۲۸ تن در هکتار) متوسط ارزیابی نمود.

واژه‌های کلیدی: عدم قطعیت، مدلسازی، مدل رقمی ارتفاع، SWAT-CUP

### مقدمه

میزان فرسایش در هکتار، حالت بحرانی اعلام کرده‌اند (۲۵). یکی از راه‌های تخمین میزان فرسایش و رسوب استفاده از مدل است. مدل‌های فرسایش خاک ابزار جایگزینی برای شبیه‌سازی و مطالعه کوتاه مدت و بلند مدت پیامدهای کاربری مختلف اراضی بر سیستم‌های طبیعی است. به منظور شبیه‌سازی فرآیند رواناب، فرسایش و انتقال رسوب، مدل‌های مختلفی توسعه یافته است. در این تحقیق از مدل SWAT<sup>۵</sup> استفاده شده است. مدل SWAT یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه‌ای می‌باشد که توسط سرویس تحقیقاتی کشاورزی آمریکا (ARS<sup>۶</sup>) ارائه شده است. مدل SWAT برای شبیه‌سازی وقایع منفرد با جزئیات زیاد طراحی نشده است. بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، فرسایش، رشد گیاهان، عناصر غذایی، آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روند یابی جریان می‌باشد (۶) و SWAT یک مدل پیوسته است که توانایی شبیه‌سازی داده‌های

ایران از نظر حجم فرسایش خاک، در میان کشورهای منطقه، رتبه اول و در دنیا رتبه دوم را دارد. اگر رقم سالانه تلفات خاک کشور ۲ تا ۲/۵ میلیارد تن فرض شود، معادل ۲۰ درصد فرسایش طبیعی خاک‌ها و ۸ درصد مقدار فرسایش خاک در مقیاس جهانی در ایران اتفاق می‌افتد (۲۵). این میزان با توجه به سهم ۱/۱ درصدی ایران از مساحت خشکی‌های دنیا بسیار قابل تأمل است. شرایط چنان نگران‌کننده است که در پیش‌نویس قانون حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، بیش از نیمی از مساحت ایران را (۸۸ میلیون هکتار) از نظر

۱ و ۲- دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
\* نویسنده مسئول: (Email: kiani@gau.ac.ir)

۳- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- کارشناس ارشد شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان

DOI: 10.22067/jsw.v31i5.62746

تیبین ۰/۳۷ تا ۰/۸۷ و ضرائب نش ساتکلیف (۲۶) ۰/۳۹ تا ۰/۷۳ دارای کارایی قابل قبولی در شبیه‌سازی می‌باشد. چنژو و همکاران (۱۱) تحقیقی درحوزه هولین چین انجام دادند. در این مطالعه ذکر شده است که در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، نگرانی‌هایی در سنجش توانایی یا عدم توانایی میزان عدم قطعیت پارامترها با روش‌های SUFI<sub>2</sub> و GLUE وجود دارد. همچنین دو روش فوق در قابلیت تعیین پارامترها و پیش‌بینی عدم قطعیت‌ها و بازدهی الگوریتم‌ها مقایسه شدند. در این تحقیق برتری SUFI<sub>2</sub> در آنالیز عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی با ساختار پیچیده و تجزیه و تحلیل-های محاسباتی بالا، مشاهده شد. محضری و همکاران (۲۲) از مدل SWAT به منظور شبیه‌سازی فرآیند دبی و رسوب و نیترات در حوضه رودخانه گرگانود استفاده کرده و نتایج را رضایت‌بخش اعلام کردند. به طوری که در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، مقادیر ضریب نش-ساتکلیف در حدود ۰/۵۰ تا ۰/۷۱ برای دبی و ۰/۵۱ تا ۰/۶۷ برای رسوب برای ایستگاه‌های مختلف برآورد شد و نتایج حاکی از اجرای خوب مدل در کاربری‌های مختلف بوده است. غلامی و نصیری (۱۶) مدل SWAT را برای شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه در حوضه اترک استان گلستان به کار بردند. واسنجی و اعتبار سنجی مدل را با استفاده از برنامه SUFI2 انجام دادند و دقت شبیه‌سازی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تیبین در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۴ و در دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۴۶ برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل می‌تواند به عنوان ابزاری مهم برای شبیه‌سازی رواناب، فهم بهتر فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی حوضه و مدیریت بهینه منابع آبی مورد استفاده قرار بگیرد. وانگ و همکاران با مدل‌سازی اثر گزینه‌های مختلف کاربری اراضی در حوضه‌ای در چین به این نتیجه رسیدند که کاربری‌های مختلف دارای اثرات مختلفی بر مقدار رواناب و آب زیرزمینی می‌باشد و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی جنگلی در حوضه منجر به افزایش میزان رواناب سالانه و کاهش آب زیرزمینی در اثر کاهش نفوذپذیری خاک می‌گردد. در زمینه شبیه‌سازی و بررسی کارایی مدل SWAT تحقیقات زیادی انجام شده است (۳، ۵، ۱۶، ۲۰ و ۲۲). با توجه به رضایت‌بخشی مدل در خاک‌های اکثر نقاط جهان پیش‌بینی می‌شود که این مدل بتواند جهت ارزیابی فرسایش و رسوب خاک‌های لسی استان گلستان نیز مفید واقع شود که در این تحقیق به آن پرداخته شد. به طور کلی هدف از این تحقیق بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان و نرخ رسوب‌دهی روزانه در قسمت شرقی حوضه آبخیز گرگانود می‌باشد.

طولانی مدت را دارد. این مدل محاسبه‌گر کارآمدی است و برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز بسیار بزرگ با مراحل مدیریتی متفاوت بدون نیاز به زمان و سرمایه زیاد می‌تواند اجرا شود. مدل SWAT جهت محاسبه میزان فرسایش ناشی از باران و رواناب از معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (MUSLE<sup>1</sup>) استفاده می‌نماید. در این معادله که اصلاح شده رابطه USLE<sup>2</sup> می‌باشد، به جای فاکتور انرژی بارش از فاکتور رواناب استفاده می‌شود که خود باعث بهبود تخمین میزان رسوب می‌گردد. مزیت دیگر این مدل، لحاظ نمودن عامل ذوب برف در شبیه‌سازی فرسایش است (۲۷). این مدل برای کمک به مدیریت منابع آب در پیش‌بینی و تعیین اثر مدیریت زمین روی آب، رسوب و مواد شیمیایی کشاورزی در حوضه‌های آبخیز بزرگ یا حوضه رودخانه‌ها با خاک‌های متنوع توسعه یافت. اگرچه این مدل برای پیش‌بینی طولانی مدت است اما برای رخدادهای سیلابی منفرد طراحی نشده است. وان لیو و گاربرت (۳۱) توانایی مدل SWAT در تخمین شدت جریان تحت شرایط آب و هوایی مختلف را در سه زیرحوضه از ایالت اوکلاهامای آمریکا بررسی کردند و دریافتند که مدل SWAT می‌تواند به خوبی مقدار رواناب روزانه در هر زیرحوضه را تحت شرایط خشک، معتدل و مرطوب پیش‌بینی کند. پورا و برا (۸) پس از مقایسه مدل SWAT با چند مدل دیگر (که در مقیاس حوضه کاربرد دارند) نتیجه گرفتند که مدل نتایج امیدوارکننده‌ای در شبیه‌سازی حوضه‌های کشاورزی ارائه می‌نماید. دمیر و همکاران (۱۲) در مطالعه‌ای پیرامون ارزیابی پایدار اراضی دره‌ی ایرمندر در شمال شرقی کشور ترکیه (استان ترابوزان)، به این نتیجه رسیدند که مسأله توسعه مناطق روستایی و شهری در حوضه آبخیز رودخانه مورد مطالعه در اثر افزایش جمعیت و توسعه صنعتی، نیاز به تعیین کاربری‌های اراضی بهینه را ضروری ساخته است. آنها دریافتند طیف وسیعی از فعالیت‌های سازندگی با طرح‌های اصولی و پایدار در تعارض هستند و پیشنهاد کردند طرح‌های مدونی برای احیا و بازسازی منطقه با الزامها و محدودیت‌های قانونی و سیاست‌های جایگزینی اجرا گردد. سلمانی و همکاران (۲۹) با بررسی سناریوهای مختلف کاربری اراضی در حوضه گرگانود استان گلستان دریافتند که در مناطق زراعی با شیب بیشتر از ۱۲ درصد رواناب سطحی افزایش یافت و مقادیر جریان زیرسطحی، نفوذپذیری، آب‌گذری به آبخوان عمیق کاهش پیدا نموده و همچنین تغییر کاربری از جنگل به مرتع، زراعت و مناطق مسکونی باعث افزایش فرسایش شده است. حسینی و همکاران، (۱۸) مؤلفه-های بیلان آبی حوزه قره‌سو استان کرمانشاه را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که مؤلفه‌های تبخیر و تعرق، جریان سطحی، جریان زیرسطحی، جریان با ضرائب

1- Modified Universal Soil Loss Equation

2- Universal Soil Loss Equation

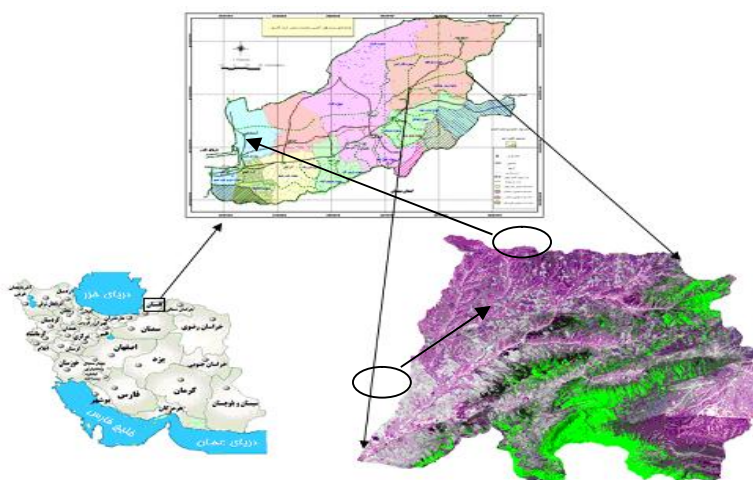
3- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های جغرافیایی حوزه آبخیز تمر

حوزه تمر در بالا دست سد بوستان در شرق استان گلستان با مساحت ۱۵۲۴ کیلومتر مربع بین طول‌های ۳۰° ۲۶' ۵۵" تا ۳۵° ۰۴' ۵۶" شرقی و عرض‌های ۵° ۲۵' ۳۷" تا ۳۳° ۴۷' ۳۷" شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه منطقه ۴۹۶/۴ میلی‌متر می‌باشد. در این حوزه از سمت جنوب و جنوب غرب به سمت شمال و شمال شرق از میزان بارندگی کاسته شده و بر میزان

تبخیر و تعرق و دما و تعداد ماه‌های خشک سال افزوده می‌گردد. همچنین میانگین دمای سالانه حوزه، رطوبت نسبی و به ترتیب برابر ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و ۶۸/۵ درصد می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز ۲۱۳۳ و حداقل ارتفاع آن ۱۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۲). متوسط ارتفاع ۷۴۹/۲ متر از سطح دریا، شیب متوسط حوزه ۱۲/۷۳ درصد، زمان تمرکز تا خروجی حوزه تمر ۱۳/۵ ساعت و زمان تأخیر ۸/۱ ساعت می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز تمر در استان گلستان، ایران

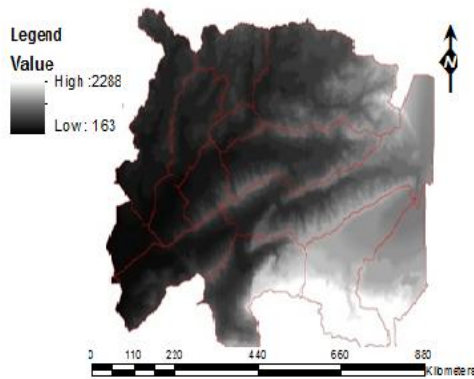
Figure 1- The position of Tamer Watershed in Golestan province, Iran

### ورودی‌های مدل SWAT

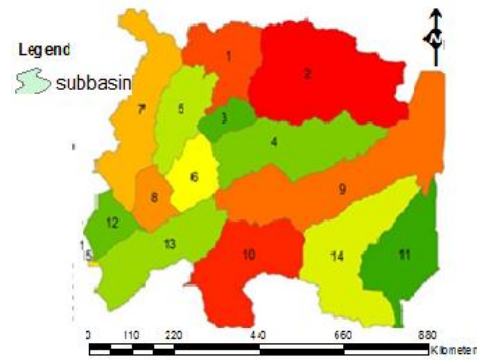
به منظور اجرای مدل در حوزه آبخیز تمر، از نقشه‌های رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متری (گزارش مطالعات تفصیلی حوزه بالادست سد وشمگیر استان گلستان اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، ۱۳۹۰) استفاده شد (شکل ۲) و با اضافه کردن یک خروجی در محل ایستگاه هیدرومتری، تمر به ۱۵ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۳). مرحله بعدی وارد کردن نقشه خاک است. در حوزه آبخیز تمر، از نقشه اجزای واحد اراضی، بافت خاک و اطلاعات خاکرغ‌های حفر شده استفاده گردید. سپس با اطلاعات اندازه‌گیری شده فاکتورهای جزئی‌تر خاک شامل تراکم حجمی خاک، ظرفیت حجمی آب قابل دسترس، هدایت الکتریکی لایه‌های خاک، کربن آلی، بافت خاک و آبدوی خاک (شهریاری و همکاران، ۱۳۹۰ و مطالعات تفصیلی حوزه بالادست سد وشمگیر، ۱۳۷۰) تکمیل و تصحیح شد (شکل ۵). در مرحله بعد نقشه پوشش گیاهی نیز به مدل معرفی شد (گزارش خاکشناسی، طبقه‌بندی اراضی و پوشش گیاهی

حوزه بالادست سد وشمگیر استان گلستان، معاونت برنامه‌ریزی استانداری و شرکت سهامی هامون، ۱۳۸۸). کدهای تعریف شده در مدل SWAT شامل RNGE, AGRR, FRSD, WATR, FPEA, ORCD, AGRL, URML، کشاورزی آبی، جنگل، استخر و آبنندان، جالیز، باغ، کشاورزی دیم و مناطق شهری می‌باشند. (شکل ۴) که منجر به تولید واحدهای واکنش هیدرولوژیک (HRU<sup>۲</sup>) در هر زیرحوضه می‌گردد. در این مرحله، حوزه گرگانود به ۲۸۴ واحد واکنش هیدرولوژیک تقسیم شد.

مدل SWAT نیازمند آمار و اطلاعات جامع از حوزه مورد مطالعه می‌باشد ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده در این تحقیق ایستگاه‌هایی با داده‌های با دوره زمانی بالا می‌باشند برای این منظور اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تمر و ایستگاه‌های قرقانق، رباط قره بیل، تنگراه و پارک ملی گلستان از اداره آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شده و اطلاعات مورد نیاز استخراج و به فرمت dbf تبدیل و مرتب‌سازی شده وارد مدل شد.

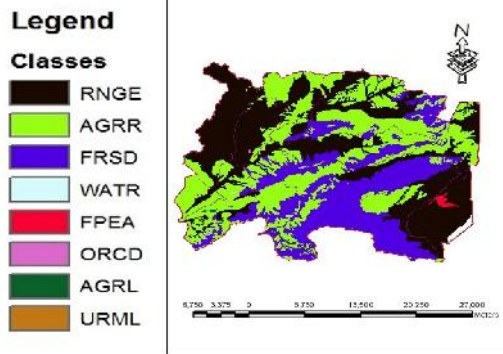


شکل ۳- نقشه زیر حوضه‌های حوضه آبخیز مورد مطالعه

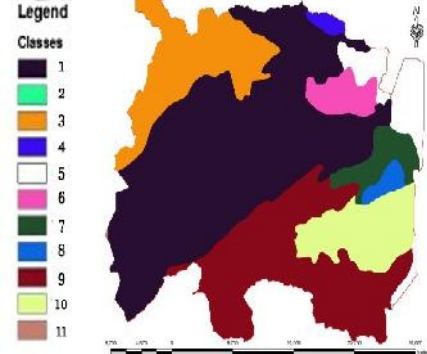


شکل ۲- نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز مورد مطالعه

Figure 3- Map of sub-basin in the studied watershed Figure 2- Map of height classes in the studied watershed



شکل ۵- نقشه تنوع خصوصیات خاک حوضه آبخیز  
Figure 5- Soil map of the studied watershed



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی در حوضه آبخیز مورد مطالعه  
Figure 4- Land use map of the studied watershed

اشکال اصلی آن مانند اکثر مدل‌ها این است که نتایج اولیه آن بدون واسنجی دارای دقت و همخوانی با مقادیر مشاهداتی نیست (۳). هدف از واسنجی مدل حداقل کردن تفاوت‌ها بین خروجی‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای است. یک مدل ابتدا از داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده و یا پیش‌فرض مدل، استخراج می‌شود و سپس خروجی‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده‌ای واسنجی می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری مستقیم بسیاری از پارامترهای ورودی مدل به طور دقیق دشوار، وقت‌گیر و با کارایی کم می‌باشد، مدل‌سازی معکوس در تعیین پارامتر مورد توجه کاربران قرار گرفته است (۳). از روش‌های استفاده شده برای واسنجی خودکار می‌توان به روش‌های موجود در -SWAT CUP اشاره کرد. SWAT-CUP نرم افزاری است که با روش‌های GLUE<sup>1</sup>، SUFI-2، MCMC<sup>2</sup>، PARASOL، به SWAT لینک شده و می‌تواند آنالیز حساسیت، واسنجی، صحت‌سنجی و آنالیز عدم

به منظور مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل و ارزیابی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان و رسوب، داده‌های روزانه جریان (متر مکعب بر ثانیه) و رسوب (تن در روز) ایستگاه هیدرومتری تمر واقع شده در خروجی حوضه تمر از مطالعات سازمان منابع آب (تماب) جمع‌آوری گردید. مدل SWAT نیازمند اطلاعات جامعی در مورد نوع مدیریت زراعی اعمال شده در مزارع شامل: نوع کشت، ابزار خاک‌ورزی مورد استفاده، میزان بذر پاشی، میزان واحد حرارتی مورد نیاز برای رسیدگی، نوع و میزان کود به کار رفته در هر هکتار، تاریخ کوددهی و خاک‌ورزی‌ها، تاریخ شروع کاشت و برداشت محصول، نوع آبیاری مورد استفاده و میزان آبیاری به میلی‌متر در هر هکتار دارد. برای این منظور اطلاعات مورد نیاز از اداره جهاد کشاورزی استان گلستان جمع‌آوری شد. مدل SWAT نیازمند داده‌های گوناگون جهت اجرا کردن می‌باشد، هر یک از این داده‌ها به علت عدم قطعیت‌های دخیل در آنها نیازمند کالیبره شدن برای حوضه مربوطه می‌باشد. مدل SWAT یک مدل فیزیکی می‌باشد بنابراین

1- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation  
2- Markov Chain Monte Carlo

مستقل تفسیر کند در حالی که  $R^2$  فاقد این قابلیت است (۱۷). به بیان دیگر شاخص  $R^2$  بیانگر دقت مدل هست ولی شاخص نش ساتکلیف بیانگر صحت مدل می باشد برای این تحقیق از ضریب نش-ساتکلیف و تبیین بیش از ۰.۵ به عنوان استاندارد برای قابل قبول بودن شبیه‌سازی‌ها استفاده شد.

### روش SUFI-2 در انجام تحلیل عدم قطعیت

با توجه به نتایج مثبت روش SUFI-2 نسبت به روش‌های دیگر (۱۹) این روش مورد استفاده قرار گرفت. ایده اولیه الگوریتم SUFI-2 در سال ۱۹۹۷ توسط عباسپور و همکارانش ارائه شد و در سال ۲۰۰۷ توسط ایشان توسعه یافت (۲). این الگوریتم که در چارچوب نرم افزار SWAT-CUP قابل اجرا است، روشی برای واسنجی و آنالیز عدم قطعیت همزمان مدل SWAT است. روش SUFI-2 ابتدا برای پارامترهای مدل حدود بزرگی را در نظر می‌گیرد تا تمام مقادیر مشاهده شده درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گیرند، سپس محدوده مربوط به پارامترها را به نحوی تغییر می‌دهد که اولاً بیشتر مقادیر مشاهده شده بین محدوده عدم قطعیت قرار گیرند و ثانیاً متوسط فاصله بین باندهای بالا و پایین مقدار کوچکی باشد. اگر چنانچه مقادیر مشاهده شده با دقت بالایی اندازه‌گیری شده باشند، قرار گرفتن ۸۰ درصد از مقادیر مشاهده شده بین باند عدم قطعیت و چنانچه مقادیر اندازه‌گیری شده از دقت پایینی برخوردار باشند، قرار گرفتن ۵۰ درصد از مقادیر مشاهده شده درون باند عدم قطعیت کفایت می‌کند (۳). همانطور که اشاره شد، درجه عدم قطعیت پارامترها توسط دو فاکتور به نام‌های R-factor و P-factor محاسبه می‌شود. P-factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهداتی که در باند عدم قطعیت ۹۵ درصد<sup>۳</sup> قرار گرفته‌اند. مقادیر بزرگتر P نشانگر نتایج مطلوبتری می‌باشد. R-factor از تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌های مشاهداتی به‌دست می‌آید. برنامه به دنبال طیفی از پارامترهاست که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند. حالت ایده‌آل زمانی است که P-factor برابر ۱۰۰ درصد و R-factor صفر باشد. ولی از آنجا که با کاهش R-factor مقدار P-factor نیز افزایش می‌یابد، بنابراین محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابد که دو شرط برقرار شود، اولاً اکثر داده‌های مشاهداتی در محدوده ۹۵ درصدی سطح محدوده باند عدم قطعیت، واقع شوند و ثانیاً فاصله متوسط بین حد بالا و پایین ۹۵ درصد تا حد ممکن کوچک شود. معیار ۹۵PPU با استفاده از نمونه‌برداری به روش نمونه‌گیری لاتین‌هایپر کیوب<sup>۴</sup> و حذف ۵ درصد شبیه‌سازی بسیار بد، به دست می‌آید (۳). عباسپور و

قطعیت<sup>۱</sup> را انجام دهد (۳). این عملیات توسط فاکتورهای P و R کنترل می‌شود. در صورتی که از فاکتورهای فوق مقادیر قابل قبولی به‌دست آمد، شبیه‌سازی مدل برای دوره صحت‌سنجی ارزیابی می‌گردد. واسنجی خودکار مدل SWAT با استفاده از مدل‌سازی معکوس تعیین می‌شود به این معنا که از خروجی‌های مدل‌های شبیه‌سازی، برای تخمین پارامترهای ورودی مدل استفاده می‌شود (۳). مدل‌سازی معکوس در سال‌های اخیر تبدیل به روشی رایج و پرطرفدار در انجام عمل واسنجی مدل‌ها شده است (۱۳). در این مرحله کالیبراسیون از مدل SUFI-2 جهت بهینه کردن مقادیر پارامترها استفاده و ۸ سال داده بارش و دمای روزانه ایستگاه‌های واقع در حوضه به مدل وارد گردید. همچنین داده‌های دبی روزانه ایستگاه تمر مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ تهیه گردید سپس مدل با پارامترهای مؤثر بر رواناب شبیه‌سازی و برای دوره مورد نظر اجرا شد و در هر تکرار دامنه پارامترها تعدیل شدند و مدل SWAT با استفاده از مدل SUFI-2 واسنجی شد. پس از مرحله واسنجی لازم است اعتبارسنجی انجام شود و توانایی مدل برای پیش‌بینی رخداد‌های آینده مشخص شود. این تحقیق یک چهارم کل داده‌های رواناب ایستگاه هیدرومتری تمر (۲۰۱۰-۲۰۰۷) برای مرحله اعتبارسنجی انتخاب شدند و پس از آن مدل با مجموعه‌ای از پارامترهای ورودی با دامنه به دست آمده در آخرین مرحله واسنجی و سپس اعتبارسنجی شد.

### ارزیابی عملکرد مدل

#### برای ارزیابی عملکرد مدل از چهار پارامتر استفاده شد

ضریب نش-ساتکلیف<sup>۲</sup> که اندازه‌گیری میزان مناسب بودن را انجام می‌دهد و هر چقدر که شبیه‌سازی به طور قابل قبولی با نتایج مشاهداتی شبیه باشد به مقدار ۱ نزدیک می‌شود. معمولاً مقدار بالای ۰.۹ بیانگر دقت بسیار بالای مدل می‌باشد. در حالی که مقدار نش ساتکلیف برابر با صفر بیانگر این است که مدل مشابه با گزارش میانگین داده‌ها عمل کرده است. مقادیر منفی نیز بیانگر عملکرد ضعیف مدل می‌باشد. ضریب نش-ساتکلیف تغییرات بیان شده برای مقادیر مشاهده شده در طول زمان که مدنظر مدل SWAT می‌باشد را توضیح می‌دهد (۱۷). با به‌دست آمدن عدد منفی برای ضریب نش ساتکلیف این نتیجه به‌دست می‌آید که مدل با توجه به داده‌های مشاهداتی قادر به شبیه‌سازی درستی نبوده و نیازمند واسنجی می‌باشد. همچنین از ضریب  $R^2$  استفاده گردید که برای ارزیابی این که مدل با چه دقتی تغییرات در داده مشاهداتی را دنبال می‌کند. تفاوت بین ضریب نش-ساتکلیف و  $R^2$  در این است که ضریب نش-ساتکلیف می‌تواند عملکرد مدل را با تکرار کردن داده‌های مشاهداتی

3- 95PPU, 95 percent prediction uncertainty  
4- Latin Hypercube Sampling

1- Uncertainty analysis  
2- NS, Nash & Sutcliffe, 1970

دقیق خاک برای منطقه مورد مطالعه و وجود کاربری کشاورزی آبی به صورت گسترده می‌باشد. بدین صورت که در سال‌های اخیر کشاورزی آبی در منطقه گسترش فراوانی یافته است و اکثر دیمزارها نیز آبیاری شده‌اند. این امر سبب می‌شود که رواناب تولید شده به جای شرکت در جریان رودخانه صرف تعرق گیاهان کشت شده و تبخیر از سطح خاک شود و چون این اثرات در مدل به دلیل نبود اطلاعات کافی وارد نشده است، مدل مقدار رواناب را بیشتر از مقدار مشاهده‌ای پیش‌بینی نموده است (۱۴).

با توجه به اشکال (۶) و (۹) و جدول ۱ استنتاج می‌شود که، در مورد شبیه‌سازی میزان رسوب، نتایج قدری حساس‌تر بوده است و مدل SWAT نتوانسته است رسوب را به درستی رواناب شبیه‌سازی نماید. یکی از دلایل این موضوع، کمبود داده‌های رسوب در ایستگاه هیدرومتری حوضه مورد مطالعه نسبت به اطلاعات رواناب و همچنین ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر می‌باشد (۲۲). بوش (۹) اظهار داشت تراکم داده‌ها در واسنجی مدل SWAT مهمتر از دوره طولانی آماری است و نتایج بهتری را در پی دارد. البته بستگی به هدف استفاده از مدل دارد. در صورتی که هدف ارزیابی مدل در فصول مختلف باشد داده‌برداری طولانی مورد نیاز است. این موضوع باعث بالاتر رفتن دقت واسنجی و افزایش دقت شبیه‌سازی و داشتن مقادیر شبیه‌سازی مدل طی فصل‌های مختلف می‌شود یکی دیگر از دلایل ضعف مدل در شبیه‌سازی ضعیف‌تر رسوب نسبت به رواناب، می‌تواند به علت شبیه‌سازی ضعیف جریان باشد. از علت‌های دیگر ضعف مدل در شبیه‌سازی رسوب می‌توان به تعداد کم داده‌های روزانه رسوب استفاده شده در مرحله واسنجی، صحت داده‌های رسوب استفاده شده و مهمتر از همه پیوسته نبودن اطلاعات رسوب اشاره کرد. از آنجایی که در شبیه‌سازی روزانه میزان تغییرات شدیدتر است بنابراین مدل در تخمین به صورت روزانه عملکرد ضعیف‌تری دارد. از دلایل دیگر می‌توان به پیچیدگی فرآیند تولید رسوب و عدم توانایی مدل جهت برآورد این فرآیندها اشاره کرد.

همکاران (۲) تأکید کردند که اگر داده‌های اندازه‌گیری شده کیفیت بالایی داشته باشند، باید بین تا ۸۰ تا ۱۰۰ درصد آن‌ها در سطح PPU ۹۵ قرار گیرند. در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده در این سطح قرار می‌گیرند و سپس این عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش می‌یابد تا دو شرط زیر برقرار شود:

اکثر داده‌های مشاهده‌ای در سطح PPU ۹۵ واقع شوند.  
عدم قطعیت تا حد ممکن کوچک شود.  
در این تحقیق به طور متوسط P-factor به دست آمده ۵۸ درصد و R-factor به دست آمده ۰/۰۵ می‌باشد.

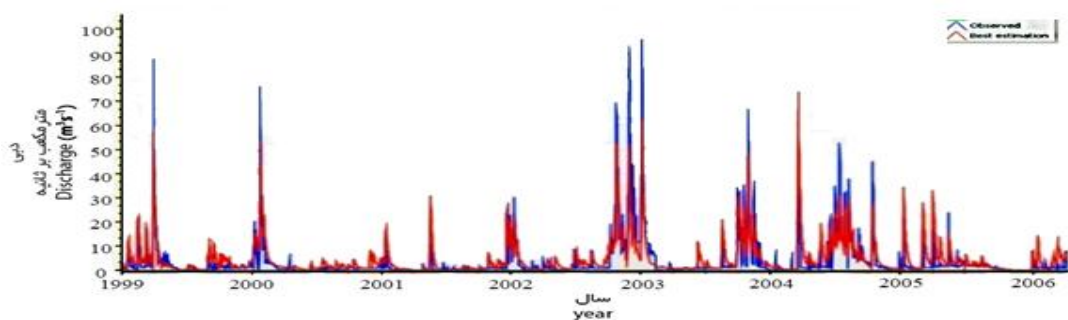
## نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل، همبستگی مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده شدت جریان در حوضه آبخیز تمر از خود نشان می‌دهد (جدول ۱). شاخص نش - ساتکلیف پرکاربردترین شاخص برای ارزیابی نتایج در شبیه‌سازی‌های جریان پیوسته است. عموماً اگر شاخص نش - ساتکلیف بیشتر تا ۰,۷۵ باشد کارایی مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰,۳۶ تا ۰,۷۵ باشد، رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰,۳۶ باشد غیر قابل قبول است. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که توانایی مدل در واسنجی دبی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ با ضریب نش ۰,۷۶ در شرایط عالی و در بخش‌های دیگر رضایت‌بخش است. شاخص P برای ارزیابی دبی ۰,۶۹ و ۰,۵۸ بوده که نسبتاً مناسب است. نزدیک بودن اعداد ۰,۰۶ و ۰,۰۵ شاخص R به عدد صفر بیانگر ارزیابی مناسب مدل توسط این شاخص است. همانطور که در اشکال (۶) تا (۹) آورده شده است. در اکثر ماه‌های سال، نتایج مدل از مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر است که این مسئله در نقاط اوج رواناب‌ها به وضوح دیده می‌شود. بورای و همکاران (۱۰) بیان می‌دارند که این موضوع به علت محدودیت مدل در توزیع مکانی بارش است به همین دلیل وقتی در قسمت کوچکی از حوضه باران بسیار شدیدی روی می‌دهد مدل این تأثیر را برای کل حوضه در نظر می‌گیرد و باعث شبیه‌سازی بیش از حد رواناب در مقایسه با مقادیر حقیقی می‌شود. دلایل دیگر کم بود اطلاعات مکانی

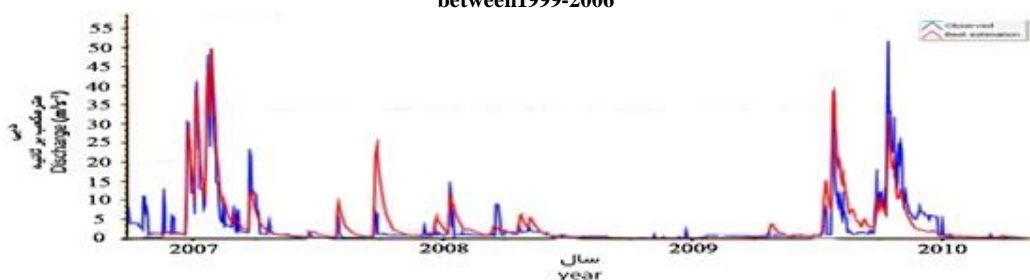
جدول ۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی دبی و رسوب روزانه برای ایستگاه هیدرومتری تمر

Table 2- The results of calibration and validation of diary discharge and sedimentation for hydrometric station of Temr

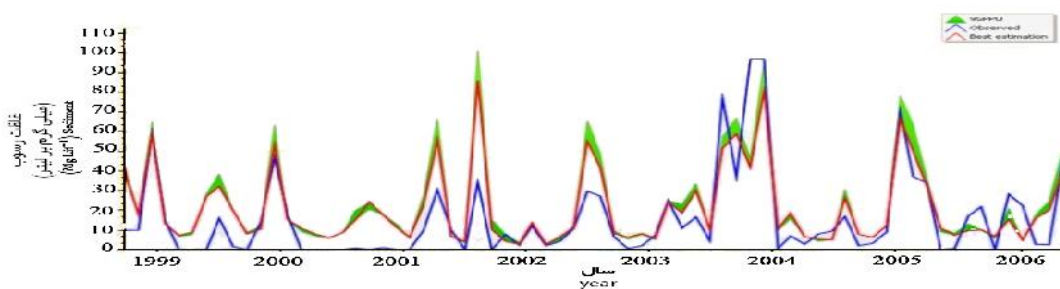
داده Data	واسنجی Calibration	شاخص‌های آماری Statistical indicators			
		P-factor	R-factor	R2	N-S
دبی Discharge	1996-2006	0.69	0.06	0.77	0.76
دبی Discharge	2007-2010	0.58	0.05	0.75	0.72
رسوب Sediment	1999-2006	0.16	0.15	0.62	0.54
رسوب Sediment	2007-2010	0.12	0.35	0.61	0.55



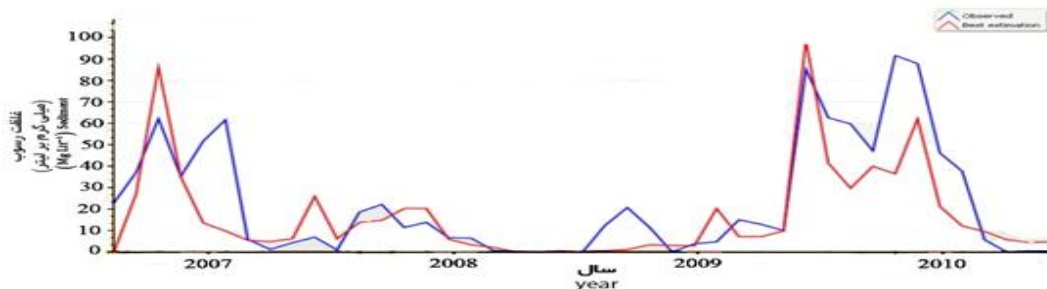
شکل ۶- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رواناب برای دوره واسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر در فاصله زمانی ۱۹۹۹-۲۰۰۶  
Figure 6- Comparison of the observed and simulated monthly discharges at the Tamer station for the calibration period between 1999-2006



شکل ۷- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رواناب برای دوره اعتبارسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر در فاصله زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۰  
Figure 7- Comparison of the observed and simulated monthly discharges at the Tamer station for the validation period between 2007-2010



شکل ۸- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رسوب برای دوره واسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر در فاصله زمانی ۱۹۹۹-۲۰۰۶  
Figure 8- Comparison of the observed and simulated monthly sediment at the Tamer station for the calibration period between 1999-2006

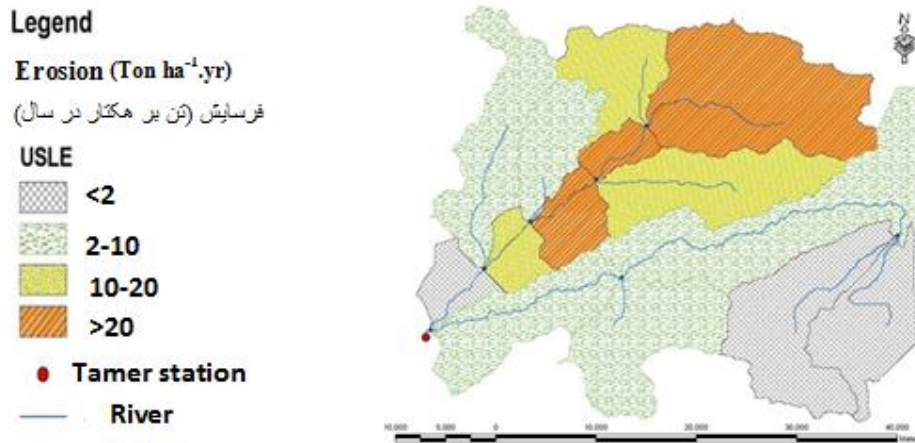


شکل ۹- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی رسوب برای دوره اعتبارسنجی ایستگاه هیدرومتری تمر با در فاصله زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۰  
Figure 9- Comparison of the observed and simulated monthly sediment at the Tamer station for the validation period between 2007-2010

جدول ۲- مقدار رواناب، رسوب و فرسایش در زیر حوضه های آبخیز گرگانرود

Table 2- Amounts of runoff, sediment and erosion in sub-basin of Gorganroud watershed

زیر حوضه	فرسایش (تن در هکتار در سال)	بار رسوب (تن در هکتار در سال)	رواناب (میلی‌متر) در سال
Subbasin	Erosion (Tonha <sup>-1</sup> .yr)	Sediment yield (Tonha <sup>-1</sup> .yr)	Runoff (mm)
1	13.82	8.53	9.11
2	20.23	12.38	13.32
3	21.19	13.90	10.67
4	18.68	10.58	12.88
5	6.89	3.13	2.19
6	24.95	15.16	11.72
7	3.97	2.38	0.98
8	18.41	17.39	12.34
9	4.37	1.54	2.26
10	8.18	8.92	5.34
11	2.62	1.04	1.37
12	2.01	0.86	0.587
13	6.25	6.82	4.23
14	1.64	1.92	0.42
15	5.60	4.81	3.02



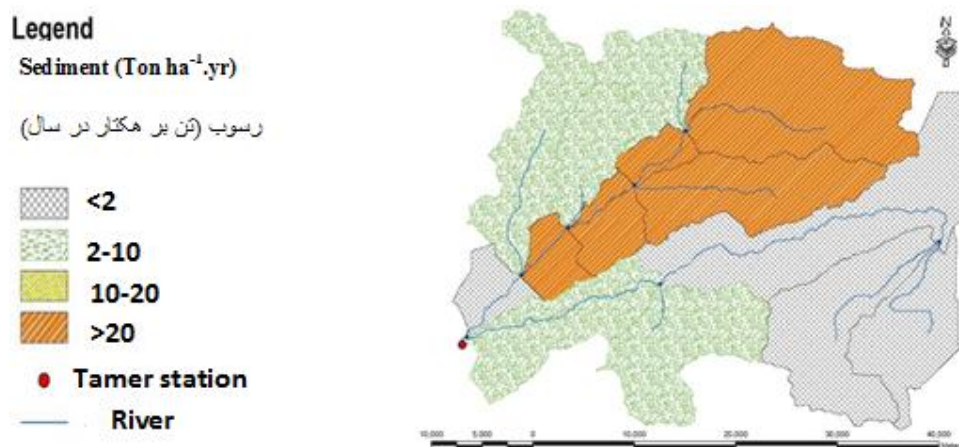
شکل ۱۰- نقشه مقدار فرسایش در حوضه آبخیز گرگانرود

Figure 10- Map of erosion rate in Gorganroud watershed

هستند. فرسایش در این کاربری‌ها نسبت به استاندارد جهانی بسیار بالا می‌باشد (۲۸).  
 زیر حوضه‌های ۲، ۳، ۶ با میزان فرسایش ویژه ۲۴/۹۵، ۲۱/۱۹ و ۲۰/۲۳ تن در هکتار دارای بیشترین میزان فرسایش در حوضه هستند. با انطباق نقشه‌های کاربری و شیب چنین به نظر می‌رسد که فرسایش در حوضه‌های مذکور تحت تأثیر فرسایش‌پذیری خاک به علت کاربری زراعی در آن‌ها و شیب این زیر حوضه بوده است. اخوان و همکاران (۴) با مقایسه نقشه فرسایش و مدل رقومی ارتفاع نشان دادند که زیر حوضه‌های بحرانی در نواحی کوهستانی و تپه‌ای قرار گرفتند.

پس از اطمینان از رضایت‌بخشی نتایج مدل، مقادیر دبی و رسوب و فرسایش خروجی مدل در زیر حوضه‌ها و هر یک از پوشش اراضی نیز محاسبه شد. جدول (۲) نشان دهنده مقدار مقایسه‌ای رواناب، رسوب و فرسایش در زیر حوضه‌های حوضه آبخیز گرگانرود می‌باشد. در شکل (۱۰) نقشه فرسایش و در شکل (۱۱) نقشه بار رسوب برای زیر حوضه‌ها نشان داده شده است.  
 بررسی فرسایش و رسوب در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد که کشاورزی آبی با متوسط فرسایش ۲۴/۹۵ تن در هکتار و رسوب ۱۵/۵۶ تن در هکتار و کشاورزی دیم با متوسط فرسایش ۲۰/۲۳ تن در هکتار و رسوب ۱۲/۳۳ تن در هکتار حساس‌ترین کاربری‌ها





شکل ۱۱- نقشه شدت توزیع رسوب در حوضه آبخیز گرگانرود  
Figure 11- Map of sediment distribution in Gorganroud watershed

جدول ۳- میزان فرسایش و بار رسوب برآورد شده توسط مدل SWAT در هر کاربری اراضی

Table 3- Erosion and sediment load rates in each land use

کدهای مدل SWAT Code	کاربری اراضی Land Use	مساحت (هکتار) Area (ha)	رسوب (تن در هکتار در سال) Sediment (Ton ha <sup>-1</sup> ·yr)	فرسایش (تن در هکتار در سال) Erosion (Ton ha <sup>-1</sup> ·yr)
AGRR	کشاورزی Agriculture	54160.88	15.56	24.95
AGRL	کشاورزی دیم Dry farming	493.64	12.33	20.23
FRSD	جنگل Forest	39868.97	0.86	2.01
RAGE	مرتع Range	85736.03	5	5
URML	مناطق مسکونی Urban	10.95	8.98	8.18
FPEA	چالیز kitchen- garden	106.33	3.13	6.89
ORCD	باغ Orchard	28.34	2	2

در بررسی منابع می‌توان نتایج مشابهی یافت. میتا و همکاران (۲۳) و باکر و همکاران (۷) به این مسئله اشاره کرده‌اند که اراضی با کاربری زراعی بر روی مناطق شیب‌دار باعث افزایش رواناب و رسوب تولیدی می‌شود. نتایج نشان دهنده توانایی خوب مدل در ارزیابی رواناب و نسبتاً خوب (ضرایب نش-ساتکلیف < ۰/۵) رسوب روزانه در محل ایستگاه هیدرومتری تمر می‌باشد. گزا و مس‌کری به‌دست آوردن چنین ضرایبی را خوب و عالی اعلام کرده‌اند (۱۵). مدل SWAT می‌تواند ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی جریان و بار رسوب در اراضی لسی باشد. همچنان‌که نتایج دیگر مطالعات انجام شده مانند سلمانی و همکاران (۲۹) در حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان، کهنر

کمترین میزان فرسایش و رسوب را نیز زیر حوضه‌های ۱۲ و ۱۴ دارند که به دلیل وجود اراضی مرتعی، جنگلی و باغ می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، میزان فرسایش به‌دست آمده در کاربری مناطق شهری از میزان رسوب کمتر است این امر به این علت است که مدل در سنجش فرسایش از معادله جهانی فرسایش در سطح اراضی استفاده می‌کند و فرسایش کانالی در نظر گرفته نمی‌شود ولی برای سنجش رسوب علاوه بر رسوب حاصل از سطح اراضی، رسوب کانال‌ها هم در نظر گرفته می‌شود که این موضوع در کاربری شهری به علت سطح بالاتر کانال‌ها نسبت به سطح کاربری نمود پیدا کرده است.

زراعی بر روی اراضی شیب‌دار دارای وضعیت بحرانی از نظر فرسایش و رسوب قرار دارند که استفاده نادرست و نامعقول از اراضی بدون در نظر گرفتن مسأله قابلیت و تناسب اراضی باعث افزایش رواناب و رسوب و فرسایش در این کاربری‌ها شده‌اند. استفاده از مدل SWAT با کاهش هزینه‌های عملیات صحرائی امکان اندازه‌گیری و ارزیابی شرایط فرسایشی حوضه‌های آبخیز را فراهم می‌نماید. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تغییر کاربری اراضی باعث آثار افزایش میزان فرسایش در اراضی با شیب برابر شده است. پیشنهاد می‌گردد سایر مدل‌های هیدرولوژیکی نیز مورد استفاده قرار بگیرند و خروجی‌های فرسایش آنها با خروجی مدل‌های دیگر مقایسه گردد و تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن در مقیاس زیرحوضه‌ای بررسی و بهترین مدل برای تخمین فرسایش انتخاب گردد و همچنین داده‌های خروجی این مدل‌ها در محاسبه شاخص‌های مختلف خشکسالی که مسئله مهمی برای این مناطق می‌باشد، مدنظر قرار گیرد. با استفاده از مدل SWAT این امکان برای مدیران اجرایی و پژوهشگران فراهم می‌شود تا سناریوهای مختلف مدیریتی را مورد ارزیابی قرار دهند و با تحلیل نتایج بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند.

و همکاران (۲۱) در حوضه سن پدرو آمریکا، محمد و آدام (۲۴) در شمال غربی شهر هرنین، ویجیاک و همکاران (۳۲) در حوضه دانوب اسلواکی، عباسپور و همکاران (۲) در حوضه تور سویس، فرامرزی و همکاران (۱۴) در حوضه گرگانود اخوان و همکاران در حوضه بهار همدان (۴) مبین این موضوع هستند. محضری و همکاران (۲۲) و جعفرزاده، همکاران (۲۰) به نتیجه مشابهی رسیدند که مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی رواناب و رسوب در اراضی لسی می‌باشد.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان می‌دهد که توانایی مدل در واسنجی دبی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ با ضریب نش ۰٫۷۶ در شرایط عالی و در بخش‌های دیگر رضایت‌بخش است. شاخص P برای ارزیابی دبی ۰٫۶۹ و ۰٫۵۸ بوده که نسبتاً مناسب است. نزدیک بودن اعداد ۰٫۰۶ و ۰٫۰۵ شاخص R به عدد صفر بیانگر ارزیابی مناسب مدل در بخش دبی نسبت به رسوب توسط این شاخص است. مدل وضعیت فرسایش حوضه را با مقدار رسوب ویژه (۶/۴۹ تن در هکتار) و فرسایش (۱۰/۲۸ تن در هکتار) متوسط ارزیابی کرده و نشان داد که مناطق دارای کاربری

## منابع

- 1- Abbaspour K. C., Sonnleitner C., and Schulin R. 1999. Uncertainty in Estimation of Soil Hydraulic Parameters by Inverse Modeling: Example Lysimeter Experiments. *Journal of soil science society of American*, 63: 501-509.
- 2- Abbaspour K. C., Yang J., Maximov I., Siber R., Bogner K., Mieleitner J., Zobrist J., and Srinivasan R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333: 413-430.
- 3- Abbaspour K.C. 2008. SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 2008, 95pp.
- 4- Akhavan S., Abedi-Koupai J., Mousavi S.F., Afyuni M., Eslamian S.S., and Abbaspour K. 2010. Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar watershed, Iran. *Journal of Ecosystem Environment*, 139(4):675-688.
- 5- Alansi A.W., M.S.M. Amin G., Abdul Halim H.Z.M., Shafri and Aimrun W. 2009. Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam humid tropical river basin, Malaysia. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 6: 7581-7609.
- 6- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., and Williams J.R. 1998. Hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of Water Resources Association*, 34(1):73-89.
- 7- Bakker M.M., Govers G., Doorn A.V., Quetier F., Chouvard D., and Rounsevel M. 2008. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Journal of Geomorphology*. 98: 213-226.
- 8- Borah D. K., and Bera M. 2003. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases. *Trans. ASAE*, 46(6), 1553-1566.
- 9- Bosch D.D., Sheridan J.M., Batten H. L., and Arnold J. G. 2004. Evaluation of the SWAT Model on coastal Plain Agricultural Watershed. *Trans. ASAE*, 47(5), 1493-1506.
- 10- Bouraoui F., Grizzetti B., Granlund K., Rekolainen S., and Bidoglio G. 2004. Impact of climate change on the water cycled and nutrient losses in a Finnish catchment. *Clim. Change* 66(1-2): 109-126.
- 11- Chen X., Bing C., and Hongjing W. 2014. Parameter Uncertainty Analysis of Surface Flow and Sediment Yield in the Huolin Basin, China. *Journal of Hydrology Engineering*, 19:6, 1224-1236.
- 12- Demir Y.M., Atasoy M., Bayrak T., and Biyik C. 2008. Evaluating Sustainable Land Use for the De Irmendere Valley: A Case Study From Northeastern Turkey. 14:626-633.
- 13- Duan Q. 2003. Global Optimization for Watershed Model Calibration, in *Calibration of Watershed Models*,

- edited by Q. Duan, H. V. Gupta, S. Sorooshian, A. N. Rousseau, and R. Turcotte, pp. 89-104, AGU, Washington, DC.
- 14- Faramarzi M., Abbaspour K., Schulin R., and Yang H. 2009. Blue and green water resources in Iran. *Journal of Hydrology. Process.* 23: 486-501.
  - 15- Geza M., and McCray J.E. 2008. Effects of soil data resolution on SWAT model streamflow and water quality predictions. *Journal of Environmentn. Manager*, 88: 393-406.
  - 16- Golami SH., and Nasiri M. 2014. Simulation of Atrak River monthly discharge using SWAT model, Case study: Maraveh Tappeh watershed, Golestan province. *Journal of Watershed Engineering and Management.* 7 (2): 126-135.
  - 17- Green C.H., Greensoun J.G., Williams J.R., Haney R., and Harmel R.D. 2007. Soil and water assessment tool hydrologic and water quality evaluation of poultry litter application to small scale sub watershed in Texas. 50, 1199-1209.
  - 18- Hosseini M., Ghafouri M., Tabatabaei M., Nadergholi E., and Zare Garizi A. 2016. Estimation of hydrologic budget for Gharesou watershed, Iran. *Journal of Ecopersia*, 4(3): 1455-1469.
  - 19- Hyung Kyung J., Jong Yoon P., Hyun Kyo J., Hyun Hin S., Hyung Joong K., and Seong Joon K. 2011. The Uncertainty Analysis of SWAT Simulated Streamflow and Water Quality Applied to Chungju Dam Watershed of South Korea for climate change analysis. *Journal of Agriculture. System*, 38(3): 225-238.
  - 20- Jafarzadeh M.S., Rouhani H., Salmani H., and Fathabadi.H. 2016. Reducing uncertainty in a semi distributed hydrological modeling within the GLUE framework. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23 (1): 83-100.
  - 21- Keppner W.G., Semmens D. J., Bassett S. D., Mouat D. A., and Goordrich D. C. 2004. Scenario analysis of the San Pedro river, analyzing hydrological consequences of a future environment. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 94: 115-127.
  - 22- Mahzari S., Kiani F., Khormali F., and Azimi M. 2016. Using SWAT model to determine runoff, sediment yield and Nitrate loss in Gorganrood watershed, Iran. *Journal of Ecopersia*, 4(2): 1359-1377.
  - 23- Miyata S., Kosugi K., Gomi T., Onda Y., and Mizuyama T. 2007. Surface runoff as affected by soil water repellency in a japanes cypress forest. *Journal of Hydrological processes*, 21 (17): 2365-2376.
  - 24- Mohammad A.G., and Adam M. A. 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and erosion under different land use. *Journal of Catena*, 81: 97-103.
  - 25- Najafi Q. 2005. Land and agricultural lands in Iran. *Monthly Dehati Magazine*, 24: 17-24.
  - 26- Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
  - 27- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., and King K.W. 2002. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation-Version 2000. .
  - 28- Refahi H.Gh. 2006. Water erosion and conservation. Tehran University Publication. 22(5), 671.
  - 29- Salmani H., Mohseni Saravi M., and Rouhan Hand Salajeghe A. 2012. Evaluation of Land Use Change and its Impact on the Hydrological Process in the Ghazaghli Watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 3(6): 43-60.
  - 30- Shahriari A., Khormali F., and Azarmdel H. 2011. Clay mineralogy of Mollisols and Mollisols-like soils as affected by physiographic unit formed on loess deposits in southern Gorgan River, Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(4): 63-79.
  - 31- Van Liew M. W., and Garbrecht J. 2003. Hydrologic simulation of the Little Washita River experimental watershed using SWAT. *Journal of American Water Resource. Assoc.* 39(2): 413-426.
  - 32- Vigiak O., Malago A., Bouraoui F., Vanmaercke M., and Poesen J. 2015. Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large basins. *Journal of Science of the total environment*, 538: 855-875.



## Evaluation Theerosion and Sediment in Different land Uses of Tamer Watershed, Golestan Province Using SWAT Model

F. Kiani<sup>1\*</sup> - B. Behtarinejad<sup>2</sup>- A. Najafinejad<sup>3</sup>- R. Kaboli<sup>4</sup>

Received: 13-03-2017

Accepted: 03-07-2017

**Introduction:** population growth, urbanization and land use changes cause negative effects in natural ecosystems and water resources. Soil erosion is one of the most important problems in agriculture and natural resources of Golestan province. Using low cost and accurate methods for planning and proper management of land and water resources are essential for estimating consequences of soil erosion and providing appropriate solutions to reduce soil losses.

**Materials and Methods:** The study area is located in eastern part of Golestan province with an area of 1524 square Kilometers. The average annual precipitation of the region is 496 millimeters. In this watershed, rainfall decreases from south and south west to north and north east (due to the remoteness from the Caspian Sea), while evapotranspiration, temperature and the number of dry months increase in the same direction. Also the average annual temperature of the watershed and its relative humidity and evaporation are 17.8°C, 68.5 % and 1398.34 millimeters, respectively. Tamer watershed was divided into 15 sub-watersheds by adding an outlet in the site of Tamar gauging station. In this study, the SWAT model was used to simulate erosion and sedimentation. To compare the measured and simulated data and evaluation of the SWAT performance in terms of simulating flow and sediments, daily flow (cubic meters per second) and sediment (tons per day) data at the Tamar gauging station located in Tamar's watershed outlet was collected from the studies of water resources organization (Tamab). Simulated values were generally consistent with the data observed during calibration and validation period. At this stage of calibration, the SUFI-2 model was used to optimize the parameter values. In this study, daily rainfall and temperature data recorded during an 8-year period by the stations within the watershed were imported into the model. The daily discharge data and daily sediment data of Tamar station recorded during 1999- 2006 were selected. Then model was run using runoff and sediment parameters, and ranges of parameters were adjusted at each iterations, and therefore SWAT model was calibrated using SUFI-2 model. After calibration, model must be validated and its ability to predict future events must be determined. Validation was performed using the runoff and sediment data recorded in Tamar gauging station from 2007 to 2010.

**Results and Discussion:** NS, R2, R-factor and P-factor were estimated for runoff calibration about 0.76, 0.77, 0.06 and 69 and for runoff evaluation 0.72, 0.75, 0.05 and 69 respectively. The same parameters were also measured for sediment calibration about 0.54, 0.62, 0.15, and 16 and sediment evaluation 0.55, 0.61, 0.35, and 12 respectively. The results showed that irrigated agriculture 24.95 and 15.56 t ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup> respectively, with average erosion and sediment ha of agriculture by an average of 20.23 and 12.33 t ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup> respectively erosion and sediment erosion and deposition are tons per hectare maximum value. Results also showed that the soil loss caused by erosion in this watershed is average 6.49 t ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup> in sediment and 10.28 t ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup> in erosion.

**Conclusion:** The assessment factors showed that model has successfully simulated the daily runoff discharge during calibration and validation phases with a Nash-Sutcliffe coefficient of 0.76 and 0.72. A Nash-Sutcliffe coefficient above 0.5 could be acceptable for sediment simulation. However, sediment load simulated for rainy seasons has been lower than actual value while this value has been higher than actual value during dry seasons. In most months of the year, model results are higher than measured values and this issue is more pronounced in the peak runoffs. This issue is due to limitations in spatial distribution of rainfall, so when a small area in watershed experience a severe rainfall, model considers the impact for the entire watershed and therefore overestimates the total runoff. The results showed that SWAT model can be a useful tool for the simulation of

1 and 2- Associate Professor and Former M.Sc., Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(\*- Corresponding Author Email: kiani@gau.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- Staff of Golestan Regional Water Authority

flow and sediment basins in the loess land.

Simulation results showed that land use changes have resulted in corresponding increases in surface runoff and sediment. Rates were highly variable both spatially and temporally, and the agricultural lands were most significantly affected. These land use changes have negative implications for the ecological health of the river system as and local communities.

**Keywords:** Digital elevation map, Modeling, SWAT-CUP, Uncertainty