

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و سوم، بهار ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰

صفحات: ۹۸ - ۸۵

اولویت‌بندی حوزه آبخیز سردآبرود از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT

بهناز سرایی^۱، علی طالبی^{۲*}، احمد مزیدی^۳، سارا پرویزی^۴

چکیده

سیلاب یک پدیده طبیعی است که هر ساله باعث به وجود آمدن خسارات سنگین جانی و مالی می‌شود و جوامع بشری آن را به عنوان یک واقعه اجتناب‌ناپذیر پذیرفته‌اند. در این تحقیق برای پیش‌بینی سیل‌خیزی حوزه آبخیز سردآبرود از مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شد. هدف اصلی در این تحقیق، بررسی کارایی مدل SWAT در پیش‌بینی سیلاب و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها در حوزه آبخیز سردآبرود می‌باشد. برای واسنجی مدل از برنامه SUFI2 استفاده شد. بعد از اتمام واسنجی و بهینه شدن مدل در منطقه مطالعاتی اقدام به اعتبارسنجی مدل گردید. واسنجی مدل برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹، و اعتبارسنجی نیز بر اساس آمار سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ انجام پذیرفت. جهت تجزیه و تحلیل نتایج از شاخص‌های آماری R2، BR2 و ضریب نش ساتکلیف استفاده گردید. پس از واسنجی مدل این ضرایب به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۶۳، ۰/۷۷ و برای مرحله اعتبارسنجی آن ۰/۷۹، ۰/۷۶ و ۰/۷۱ برآورد گردید. نتایج آنالیز حساسیت، ۳۱ پارامتر مؤثر بر رواناب نشان داد پارامترهای ثابت تخلیه آب زیرزمینی، زمان تأخیر آب زیرزمینی و حداقل مقدار ذخیره آب لازم برای ایجاد جریان پایه به ترتیب حساسیت بیش‌تری دارند. برای بررسی سیل‌خیزی، حوزه آبخیز سردآبرود به ۲۴ منطقه یا زیرحوضه تقسیم گردید. با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل SWAT و تغییر CN برای هر یک از زیرحوزه‌ها، زیرحوزه شماره ۶ با مقدار رواناب ۱۲۳/۰۵ رتبه اول و هم‌چنین زیرحوزه شماره ۱۰ با مقدار ۱۲۲/۸۶ رتبه دوم را از نظر سیل‌خیزی دارا می‌باشد و زیرحوزه شماره ۱ با مقدار ۱۲/۳۳ کم‌ترین مقدار تولید رواناب را دارا می‌باشد.

واژگان کلیدی: سیل‌خیزی، مدیریت سیلاب، مدل SWAT، حوزه آبخیز سردآبرود.

۱- saraei.behnaz@gmail.com

۲- talebisf@yazd.ac.ir

۳- mazidi@yazd.ac.ir

۴- saraparvizi90@yahoo.com

۱- کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه یزد

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)

۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد

مقدمه

زیان‌های ناشی از سیلاب علاوه بر تهدید جان انسان‌ها به طرق مختلف منابع اقتصادی، زمین‌های کشاورزی و خاک حاصلخیز منطقه را مورد حمله قرار می‌دهد. تخریب دیواره‌های ساحلی، پوشیده شدن مزارع توسط گل و لای، حمل رسوبات و پر شدن مخازن سدها خسارات دیگر ناشی از سیل است. چگونگی توزیع طبیعی جریان‌های سطحی در بیش‌تر نقاط ایران، با نیازهای زمانی آب منطبق نبوده، ضرورت مهار کردن جریان‌های سطحی، تقریباً در همه موارد وجود دارد. آگاهی از میزان جریان (حجم رواناب) ناشی از نزولات جوی و تغییرات کمی و کیفی آن در زمان و مناطق مختلف یکی از پایه‌های مهم برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد. ضرورت آگاهی از وضعیت منابع آب و نزولات جوی در حوزه‌های آبخیز مختلف برای اجرای طرح‌های آبی از یک سو و عدم وجود شبکه قابل قبولی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی و آبشناسی از سوی دیگر اهمیت استفاده از روش‌های غیرمستقیم نظیر استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک برای شبیه‌سازی جریان و محاسبه حجم رواناب در حوزه‌های آبخیز را بیش از پیش آشکار می‌سازد (زائری و شفاعی‌بجستان، ۱۳۹۷).

ایران از جمله کشورهایی است که با دو مسئله کمبود آب و طغیان آب مواجه است اغلب در یک مدت کوتاه از سال، طغیان و فراوانی آب و هرز و هدر رفتن و خسارات ناشی از آن‌ها، و از طرف دیگر کمبود آب و احتیاج مبرم به آب در زمینه‌های مختلف، کشاورزی، صنعت و شرب ایجاب می‌کند که اقدامات لازم در جهت مهار کردن آب‌ها و جلوگیری از هدر رفتن آن‌ها و هم‌چنین ذخیره و بهره‌برداری صحیح از آب‌ها به‌عمل آید. مدل ارزیابی آب و خاک سیلاب یکی از گسترده‌ترین مخاطراتی است که عمدتاً انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد به این دلیل که انسان نواحی مستعد سیل را برای زندگی انتخاب نموده است (دهمرده‌قلعه‌نو، ۱۳۹۲؛ کریمی، ۱۳۹۴). در طی نیم قرن اخیر از نظر تعداد حجم رواناب جاری شده و خسارات وارده روند افزایشی داشته است در طی چهل سال گذشته بیش از ۳۷۰۰ واقعه مهم سیل در کشور ثبت شده است که ۵۲ درصد آن مربوط به ۱۰ سال اخیر می‌باشد. تعداد سیل در دهه ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰، حدود ۵ برابر دهه ۱۳۳۰ تا ۱۳۴۰ بوده است (شریفی و نوروزی، ۱۳۸۱). ابعاد وقوع این پدیده در منطقه مورد مطالعه نیز شناخته شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به رخداد سیلاب‌های مه‌رماه ۱۳۷۳ و ۱۳۸۳ اشاره نمود. لذا کنترل سیل و جلوگیری از خسارات احتمالی آن از دیرباز مورد توجه بوده است. در دهه‌های اخیر، مدل‌های هیدرولوژیک به‌طور وسیعی توسط هیدرولوژیست‌ها و مدیران منابع آب به‌عنوان ابزاری به‌منظور آنالیز سیستم‌های مدیریت منابع آبی به‌کار برده می‌شود.

ژی و همکاران (۲۰۱۰) اثرات تغییرات آب و هوا بر روی منابع آب را در حوزه Heihe در فلات Loess در چین بررسی نمودند و برای شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژیک حوزه نسبت به تغییرات آب و هوا از مدل سوات استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تعدیل الگوی کاربری اراضی قابلیت تنظیم منابع آب را دارد و هم‌چنین می‌تواند به منظور تعدیل و تسکین اثرات زیانبار تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه‌ای که توسط بتری و همکاران (۲۰۱۱) بر روی حوضه رودخانه نیل به‌ویژه در شرق رود نیل (اتیوپی، سودان، مصر) فرسایش و رسوب یکی از مشکلاتی بودند که توسعه منابع آب را در این مناطق تهدید می‌کرد. در اینجا از مدل ارزیابی آب و خاک، SWAT برای مدل کردن فرسایش خاک استفاده شده است. در این شرایط، نتایج نشان داده شده که مشاهدات روزانه به ثبت

رسیده شده بسیار به نتایج شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار SWAT نزدیک می‌باشد. گونزالزلموس (۲۰۱۵) در اسپانیا به مطالعه تأثیر سیل‌های شدید بر استلاگمیت‌ها پرداخت، که در بخش‌های کنار رودخانه غار، سیلاب منجر به دفن استلاگمیت بیش‌تر از ۳۰ سانتی‌متر از شن و ماسه در بخش مرکزی شده بود نتایج نشان داد که رشد استلاگمیت در کانال‌ها باعث کاهش بروز سیل شده است. عباسپور و همکاران (۲۰۱۵) در اروپا به مطالعه کالیبراسیون و عدم قطعیت با رزولوشن بالا مدل SWAT در مقیاس بزرگ پرداختند. در این پژوهش ساخت و کالیبره کردن مدل هیدرولوژیکی یکپارچه از اروپا با استفاده از (SWAT) و اجزای مختلف از منابع آب شبیه‌سازی شده و عملکرد محصول و کیفیت آب در واحد پاسخ هیدرولوژیکی سطح در نظر گرفته شد منابع آب در سطح زیرحوضه با فواصل زمانی ماهانه تعیین گردید. مدل کالیبره شده و نتایج ارائه پشتیبانی از اطلاعات به این دستورالعمل چارچوب آب اروپا و ذخیره کردن پایه و اساس ارزیابی بیش‌تر از تأثیر تغییرات آب و هوا در دسترس بودن آب و کیفیت رویکرد و روش‌های توسعه یافته به‌طور کلی است و می‌تواند به هر منطقه بزرگ در سراسر جهان استفاده کرد. سعادتی و همکاران (۱۳۸۵) اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب سطحی حوزه کسلیان را با استفاده از مدل سوات شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت مناسب این مدل در شبیه‌سازی اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب حوزه و افزایش قابل توجه میزان رواناب سالانه و ماهانه در اثر تبدیل اراضی جنگلی به دیم‌زار می‌باشد. کارآموز و همکاران (۱۳۸۷)، به مدل‌سازی حوزه آبخیز اهرچای در شمال غربی ایران با استفاده از سوات پرداختند و ورود بار فسفر حوزه (که وابسته به بار رسوب می‌باشد)، به مخزن سد ستارخان را به‌منظور تأثیر بهترین راهکارهای مدیریتی، واسنجی و صحت‌سنجی کردند، نتایج نشان‌دهنده کارایی مدل سوات در ارزیابی گزینه‌های مدیریت حوزه‌ای جهت بهبود شرایط کیفی مخزن سد ستارخان می‌باشد. طالبی‌زاده و مرید (۱۳۸۷)، از مدل سوات به منظور برآورد غلظت رسوب در حوزه جنگلی کسلیان استفاده کردند که پس از واسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل، نتایج حاصل از مدل تطابق خوبی با آمار مشاهده شده غلظت رسوب داشتند و ۷۲ درصد از مقادیر مشاهده شده غلظت رسوب در داخل باندهای اطمینان در سطح ۹۵ درصد قرار گرفتند. هم‌چنین بر اساس نتایج حاصل از مدل پارامترهای شماره منحنی، فرسایش‌پذیری کانال و پوشش کانال به‌عنوان حساس‌ترین پارامترها در واسنجی مدل برای غلظت رسوب شناخته شدند. در مطالعه‌ای در حوزه‌ی آبخیز اهرچای واقع در آذربایجان شرقی، توسط علوی‌نیا و نصیری‌صالح (۱۳۸۹) توانایی دو مدل HSPF و SWAT را در شبیه‌سازی رسوب خروجی از حوضه آبریز ابرو در بالا دست سد اکباتان همدان ارزیابی کردند و نتایج نشان دادند که مدل سوات تغییرات فصلی رسوب را بهتر از مدل HSPF۱ شبیه‌سازی کرد. امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۱) با تهیه ۶ لایه‌ی مختلف مطالعاتی از قبیل فاصله از رودخانه، تراکم مسکونی، تراکم جمعیتی، شیب، ضریب رواناب و ضریب CN، برای ترسیم نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیل مدل سلسله مراتبی و روش وزن‌دهی سوات را با نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق کرد نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد حدود ۱۵ درصد از شهر در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد، ۴۵ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد، ۲۵ درصد در پهنه‌ی خطر

متوسط و ۱۵ درصد در پهنه‌ی کم خطر از لحاظ سیل‌گیری قرار دارد. علیزاده و همکاران (۱۳۹۲) به برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس سالانه با استفاده از مدل سوات در حوزه آبریز نیشابور پرداختند با استفاده از جریان رودخانه و عملکرد گیاه برای دوره ۷ ساله (مهر ۷۹ تا شهریور ۸۶) و ۳ ساله (مهر ۸۶ تا شهریور ۸۹) به ترتیب واسنجی و صحت‌سنجی شد و نتایج نشان داد عملکرد مدل جهت پیش‌بینی جریان رودخانه و عملکرد گیاه کاملاً رضایت بخش بود. رئوف و همکاران (۱۳۹۵) به تخمین پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی حوزه آبخیز بالخلوچای اردبیل با استفاده از مدل سوات پرداختند. آن‌ها مقادیر برخی از این پارامترها را مانند شماره منحنی، زمان تاخیر در تغذیه آبخوان، و هدایت هیدرولوژیکی اشباع به ترتیب ۷۰ تا ۸۰، ۳۰ روز و ۱۲ تا ۲۴ میلی‌متر در ساعت تخمین زدند. هم‌چنین مقادیر R^2 ، RMSE و RE را برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۹۸ و ۰/۰۷ و برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۸۹ و ۰/۰۸ به دست آوردند و اعلام کردند که مدل SWAT جریان رودخانه را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. کوچک‌زاده و نصیری‌صالح (۱۳۹۳) برای شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT برای مقادیر تغذیه، تبخیر و تعرق و توزیع آن‌ها در افزایش دقت شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی بررسی شد. بر این اساس، میانگین خطای مطلق تراز آب دیده شده و محاسبه شده در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل ترکیبی SWAT-MODFLOW در ۲۰ چاه پیژومتری موجود در منطقه کم‌تر از ۱ متر و مجذور میانگین خطاها در حدود ۱ متر به دست آمد. نتایج کلی این کاربرد نشان داد که استفاده از نتایج حاصل از مدل سطحی سوات در مدل آب زیرزمینی دشت سیلاخور کارایی مناسبی در افزایش دقت شبیه‌سازی در ماه‌های با بارش زیاد دارد. بر اساس نتایج هرچه دوره آماری طولانی‌تری باشد سبب بهبود دقت شبیه‌سازی می‌گردد. این مدل در برآورد دبی رودخانه عملکرد مناسبی داشته و مقادیر سالانه را بهتر از ماهانه و ماهانه را بهتر از روزانه شبیه‌سازی می‌نماید. ولی، توانایی مناسبی در پیش‌بینی دبی اوج سیلاب نداشته است. مساحتی که در واقع حجم سیلاب را تأمین می‌کند، از مساحتی که این مدل را در نظر می‌گیرد، بیش‌تر است. این ضعف در اکثر مطالعات مدل مشاهده شده است. کارایی این مدل در حوزه‌های برف‌گیر نامناسب بوده است. در مجموع مدل رواناب را بهتر از رسوب شبیه‌سازی نموده است.

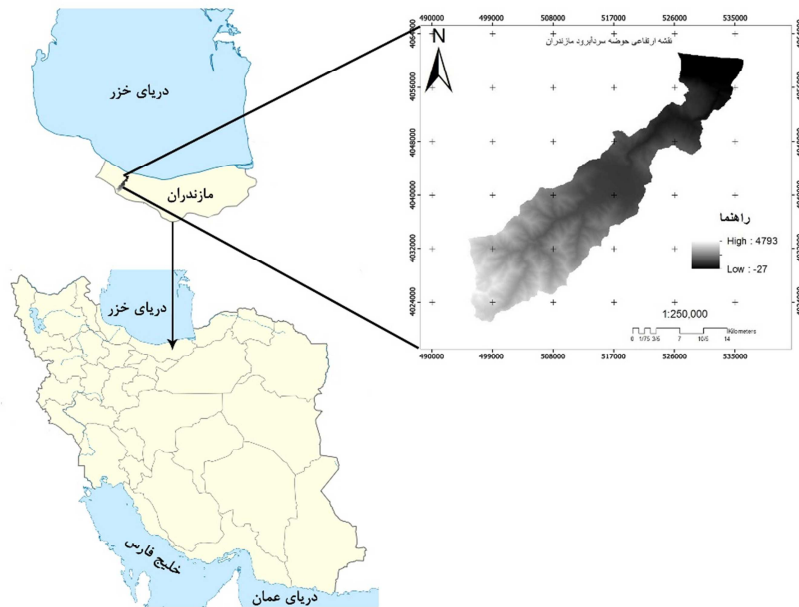
بدین ترتیب و با توجه به استفاده از مدل‌های مختلف در بررسی سیل‌خیزی زیرحوزه‌ها، هدف از تحقیق حاضر، اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT در حوزه‌ی آبخیز سردآبرود است که برای نخستین بار انجام می‌شود. با توجه به کاربرد وسیع این مدل در مقیاس جهانی، دستیابی به این هدف می‌تواند مبنایی برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز به منظور اجرای پروژه‌های مرتبط باشد و از صرف هزینه‌های زیاد در مناطق غیرضروری جلوگیری کند.

داده‌ها

الف- موقعیت عمومی حوزه آبخیز سردآبرود

حوزه آبخیز سردآبرود در شمال ایران و در غرب استان مازندران واقع شده است. این حوزه بین مختصات جغرافیایی طول شرقی "۵۱° ۱۲' ۰۰" و "۵۱° ۱۵' ۰۰" مختصات عرض شمالی "۳۶° ۳۷' ۰۰" و "۳۶° ۴۰' ۰۰" واقع شده،

مساحت این حوزه ۴۶۱/۶ کیلومتر مربع معادل ۴۶۱۶۰ هکتار می‌باشد. حداقل ارتفاع از سطح دریا در این آبخیز در مناطق شمالی (محدوده شهر چالوس) ۲۱ متر می‌باشد و حداکثر ارتفاع در مناطق جنوبی حوزه ۱۷۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این منطقه از لحاظ تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان چالوس قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز سردآبرود در ایران و استان مازندران ارائه شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سردآبرود

ب- مدل SWAT

SWAT که مخفف عبارت Soil and Water Assessment Tool می‌باشد، مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیرحوزه می‌باشد مدل SWAT نمونه‌ای از مدل‌های با مبنای فیزیکی است زیرا براساس راه حل معادلات اساسی فیزیک به شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ و مطالعه‌ی فرآیندهای سیستم اصلی می‌پردازد.

کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU می‌باشد که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و خاک حاصل می‌شود. بر این اساس باید SWAT را یک مدل نیمه‌توزیعی به شمار آورد. از نظر زمانی نیز فرایندهای مختلف بیان شده را می‌توان در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و یا سالانه شبیه‌سازی کرد. روندیابی جریان توسط روش‌های ذخیره متغیر و ماسکینگام قابل محاسبه است. رواناب سطحی از بارندگی روزانه توسط روش شماره منحنی اصلاح شده محاسبه می‌شود.

معادله بیلان آب در مدل SWAT:

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

که در آن SW_t محتوای آب نهایی در خاک، t زمان (روز)، SW_0 مقدار آب اولیه موجود در خاک، R_{day} مقدار بارش در هر روز، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در هر روز، E_a مقدار تبخیر و تعرق روزانه، W_{seep} مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیرقشری و Q_{gw} مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی می‌باشد.

ج- آمار و اطلاعات

مدل SWAT نیازمند آمار و اطلاعات جامع از حوزه مورد مطالعه مانند داده‌های روزانه بارندگی، دمای حداکثر و حداقل، متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و انرژی تابش خورشیدی، در طی دوره زمانی مورد نظر می‌باشد. جهت اجرای مدل، از داده‌های روزانه بارندگی ۴ ایستگاه باران‌سنجی و ۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در محدوده حوزه استفاده گردید که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
نوشهر	کلیماتولوژی	۵۱ ۳۹ ۰۰	۳۶ ۳۹ ۰۰	-۲۱
رامسر	کلیماتولوژی	۵۰ ۴۰ ۰۰	۳۶ ۵۴ ۰۰	-۲۰
توسکاتوک	باران‌سنجی	۵۱ ۴۸ ۰۰	۳۶ ۳۷ ۰۰	-۱۰
دراسرا	باران‌سنجی	۵۱ ۰۶ ۰۰	۳۶ ۳۸ ۰۰	۴۵۰

در این تحقیق برای شروع کار با مدل ابتدا نقشه DEM و نقشه‌های زیرحوزه‌ها و شبکه آبراه‌های که قبلاً آماده شده بودند، به محیط نرم افزار مدل فراخوانده شدند. در این مرحله محدوده آبخیز و زیرحوزه‌ها و خصوصیات فیزیکی آبخیز توسط مدل محاسبه می‌شود.

در مرحله بعد با استفاده از نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU ها) تعریف شدند. برای اینکار دو نقشه اول از قبل آماده شده بودند و نقشه طبقات شیب نیز در همین مرحله با استفاده از نقشه DEM و در پنج طبقه با استفاده از مدل SWAT و در محیط ArcGIS تهیه شدند. سپس هر سه نقشه با هم و در محیط نرم افزار مدل ترکیب شدند. پس از تهیه نقشه HRU ها، داده‌های هواشناسی وارد مدل شدند. در این مرحله مشخصات ایستگاه مرجع یعنی ایستگاه نوشهر، به همراه مشخصات و داده‌های ایستگاه کوهستانی کلیماتولوژی دانای علیا و ایستگاه سینوپتیک رامسر به عنوان ایستگاه مجاور به مدل معرفی شد.

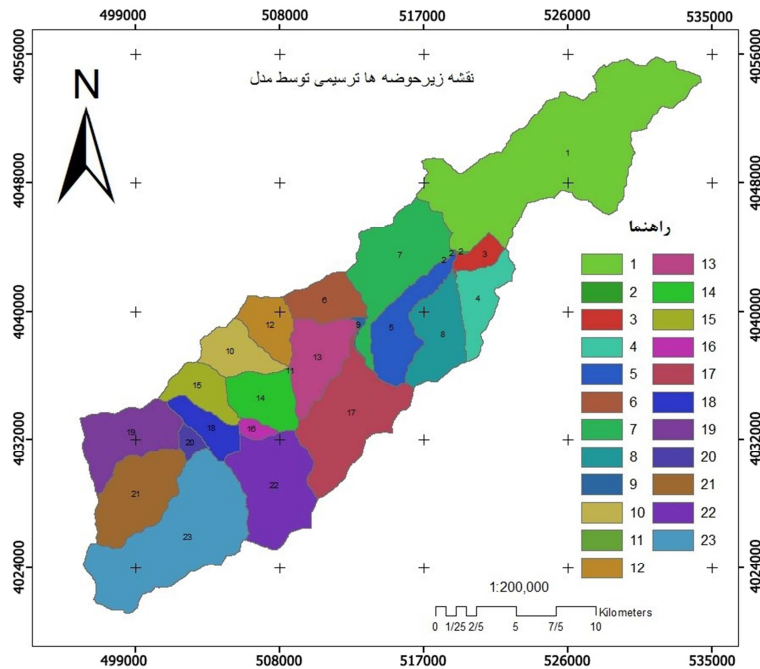
در ادامه، سایر اطلاعات مورد نیاز به صورت دستی و در جداول نرم افزار وارد شدند. پس از این مرحله دستور اجرای مدل داده شد و نتایج استخراج گردید.

Q_{surf} = رواناب سطحی (میلیمتر)، R_{day} = عمق بارش روزانه (میلیمتر) و S = پارامتر نگهداشت رطوبت (میلی‌متر) می‌باشد. پارامتر نگهداشت رطوبت به صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی، مدیریت و شیب و به صورت زمانی با تغییرات رطوبت خاک تغییر می‌کند. پارامتر نگهداشت رطوبت به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

که در آن: CN = شماره منحنی (عدد صفر تا ۱۰۰) مربوط به حوزه که به خصوصیات فیزیکی حوزه بستگی دارد و S = پارامتر نگهداشت رطوبت (میلی‌متر) می‌باشد.

لذا در این تحقیق برای بررسی سیل‌خیزی حوزه آبخیز آرازکوسه از پارامتر شماره منحنی استفاده گردید. بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل و بدست آمدن مقادیر بهینه پارامترهای حساس، با استفاده از مقادیر بهینه بدست آمده پارامترها که در مرحله واسنجی مدل تعیین گردید، مدل دوباره اجرا شد. در ادامه در فایل دیتابیس مدل SWAT عدد شماره منحنی هر کدام از زیرحوزه‌ها به ترتیب با حداقل ممکن عدد CN (۳۰) جایگزین و شماره منحنی سایر زیرحوزه‌ها ثابت فرض شد و مدل برای هر زیرحوزه جداگانه اجرا گردید. در نهایت بعد از اینکه مدل برای کل زیرحوزه‌ها اجرا شد و نتایج ثبت گردید، با مقایسه هیدروگراف خروجی اثر هر زیرحوزه بر منحنی هیدروگراف مقایسه و پتانسیل سیل‌خیزی هر زیرحوزه مشخص گردید.



شکل ۲: نقشه زیرحوضه‌ها ترسیمی توسط مدل SWAT

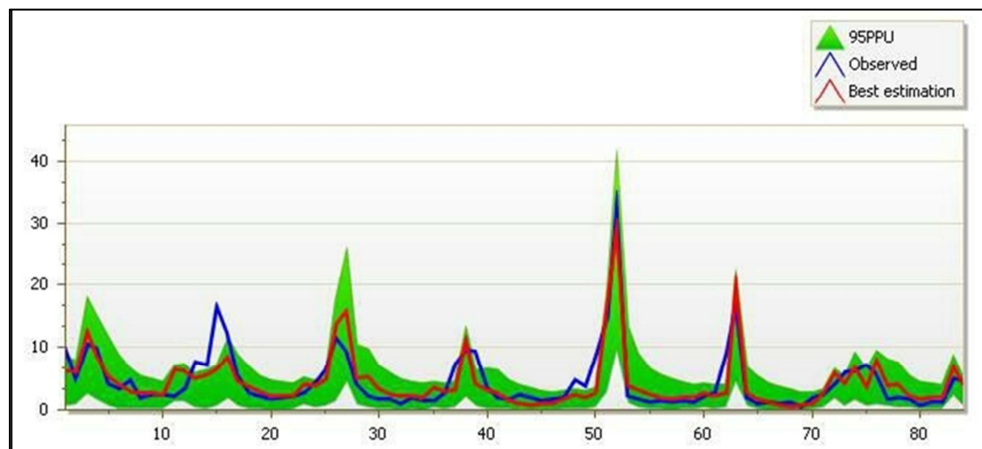
نتایج و بحث

واسنجی مدل SWAT

پس از اجرای مدل SWAT، واسنجی مدل با استفاده از برنامه SUFI2 در قالب نرم افزار SWAT-CUP به مدل سوات لینک شده است جهت واسنجی از آمار هفت ساله اندازه‌گیری (۲۰۰۳-۲۰۰۹) بارندگی، دما و دبی روزانه

استفاده شد سپس نتایج مورد ارزیابی قرار داده شد با توجه به نتایج آنالیز حساسیت مدل پارامترهای مؤثر شناسایی شد و در بهینه کردن مدل مورد استفاده قرار گرفت در جدول (۱) و شکل (۳) نمودار و مقادیر نتایج واسنجی آورده شده است.

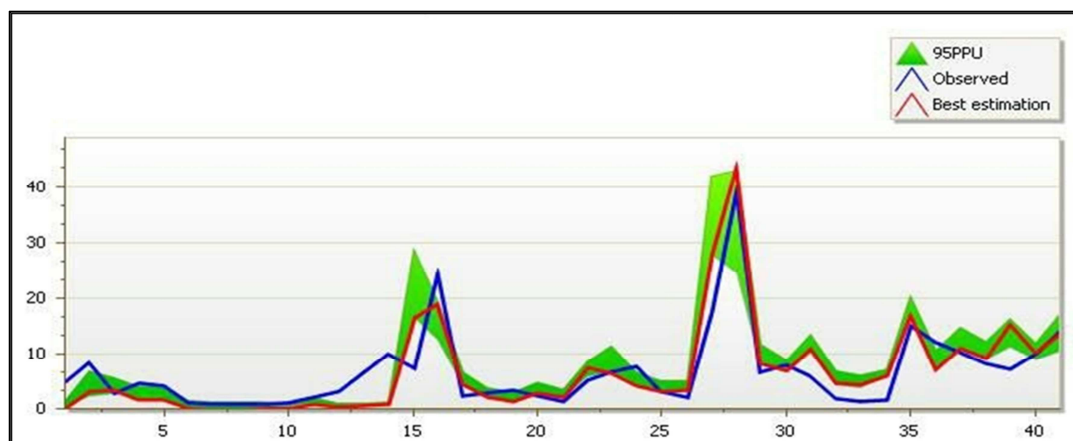
به طور کلی نتایج به دست آمده قابل قبول و کارایی مدل SWAT در شبیه سازی دبی رواناب ماهانه حوزه آبخیز رودخانه سردآبرود رضایت بخش می باشد.



شکل ۳: نمودار مقایسه مقادیر رواناب مشاهده شده و شبیه سازی شده پس از واسنجی مدل SWAT حوزه آبخیز سردآبرود

اعتبارسنجی

بعد از مرحله واسنجی مدل به ارزیابی مدل پرداخته شد ارزیابی مدل نیز نتایج قابل قبولی را نشان داد. در این مرحله با توجه به نتایج بهینه مرحله واسنجی شده با استفاده از داده سالهای ۲۰۱۰-۲۰۱۳ اقدام به شبیه سازی جریان رودخانه شد و به عنوان نتایج نهایی اعتبارسنجی مدل در جدول (۱) و شکل (۴) ذکر شده است.



شکل ۴: نمودار مقادیر رواناب مشاهده ای و شبیه سازی شده حوزه آبخیز سردآبرود طی دوره اعتبارسنجی

جدول ۱: مقادیر شاخص های ارزیابی مدل سازی رواناب در مراحل مختلف اجرای مدل SWAT

مرحله اعتبارسنجی	مرحله واسنجی	شاخص های ارزیابی و مراحل اجرای مدل
۰/۷۶	۰/۷۷	ضریب تبیین (R ²)
۰/۷۱	۰/۷۷	ضریب نش - ساتکلیف (NS)
۰/۷۹	۰/۶۳	ضریب br ²

برای انجام آنالیز حساسیت از روش "یک پارامتر در هر بار" (OAT) که متعارف ترین روش می باشد استفاده شد. در روش OAT در هر بار اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه ثابت می ماندند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت پارامتر را مشخص می کند. مقادیر بهینه پارامترهای حساس در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر بهینه پارامترهای حساس بعد از واسنجی برای منطقه مطالعاتی

ردیف	نام پارامتر	مقدار بهینه	حداقل	حداکثر
۱	r_CN2.mgt	-۰/۳۱۱۰۳	-۰/۲۲۱۰۴۸	۰/۰۷۳۴۴۰
۲	v_ALPHA_BF.gw	۰/۴۶۵۲۷۳	-۰/۰۴۵۰۶۳	۰/۵۸۸۸۹۵
۳	v_GW_DELAY.gw	۲۵۵/۶۰۹۹۲۴	۸۸/۷۳۵۷۷۹	۳۲۵/۴۳۶۷۰۷
۴	v_GWQMN.gw	۰/۹۶۰۷۶۴	۰/۳۴۴۹۱۷	۱/۷۲۸۸۴۳
۵	v_GW_REVAP.gw	۰/۰۸۰۱۷۱	۰/۰۵۴۲۴۲	۰/۱۷۴۸۴۲
۶	v_ESCO.hru	۰/۷۷۴۸۱۱	۰/۶۹۱۹۳۶	۰/۸۳۶۰۶۶
۷	v_CH_N2.rte	۰/۰۴۵۱۸۲	۰/۰۳۰۸۷۳	۰/۲۹۱۰۲۹
۸	v_CH_K2.rte	۸۶/۸۹۷۲۸۵	۶۰/۵۲۸۵۲۲	۱۲۵/۶۳۶۵۸۱
۹	v_ALPHA_BNK.rte	۰/۳۷۱۸۵۷	۰/۰۰۸۹۴۹	۰/۴۵۹۷۶۷
۱۰	r_SOL_AWC(1).sol	۰/۰۱۷۰۱۷	-۰/۱۱۰۷۷۱	۰/۱۲۳۷۰۳
۱۱	r_SOL_K(1).sol	۰/۴۲۸۴۶۶	-۰/۲۱۲۷۸۳	۰/۶۲۵۴۵۱
۱۲	r_SOL_BD(1).sol	-۰/۱۸۰۶۱۷	-۰/۸۸۲۹۱۵	-۰/۱۳۹۷۴۳
۱۳	v_SFTMP.bsn	-۲/۷۲۹۵۷۹	-۹/۲۳۷۹۴۴	-۲/۲۷۷۱۲۶
۱۴	v_SNOCOVMX.bsn	۲۹۰/۸۰۹۹۰۶	۲۰۲/۹۹۱۰۲۸	۴۳۱/۰۹۱۹۸۰
۱۵	v_SNO50COV.bsn	۰/۱۹۷۱۱۳	۰/۰۳۱۳۸۱	۰/۶۳۴۰۴۳
۱۶	v_SNO_SUB.sub	۰/۵۹۷۷۸۹	-۸/۳۳۱۶۷۶	۹۶/۷۲۰۸۴۰
۱۷	v_TLAPS.sub	۷/۴۶۳۵۶۷	۵/۳۰۰۸۷۰	۴۴/۶۲۲۶۴۳
۱۸	v_OV_N.hru	-۰/۰۶۴۴۳۰	-۰/۳۳۴۴۸۴	۰/۱۶۱۰۲۸
۱۹	v_SMTMP.bsn	-۲/۱۷۸۸۸۵	-۳/۸۵۹۸۹۳	۰/۷۴۵۶۰۹
۲۰	v_SMFMX.bsn	۸/۶۷۱۳۶۰	۳/۹۲۳۴۵۰	۹/۶۷۸۴۹۳
۲۱	v_SMFMN.bsn	۵/۲۵۶۸۵۵	۱/۴۶۲۷۷۶	۸/۲۹۸۹۵۴
۲۲	v_HRU_SLP.hru	۰/۴۰۶۶۶۶	۰/۲۰۵۳۷۸	۰/۴۶۸۵۰۰
۲۳	v_SURLAG.bsn	۵/۹۱۴۰۵۱	۳/۸۰۱۰۹۴	۲۳/۹۲۴۴۹۰
۲۴	v_PLAPS.sub	۹۱/۴۱۸۴۳۴	۰/۱۸۸۱۳۸	۹۳/۷۵۷۶۷۵
۲۵	v_CH_COV.rte	۰/۵۵۷۸۷۵	۰/۲۴۰۹۵۳	۰/۶۰۳۱۴۹
۲۶	v_EPCO.hru	۰/۴۶۱۱۹۰	۰/۰۸۴۰۶۳	۰/۵۳۰۳۶۷

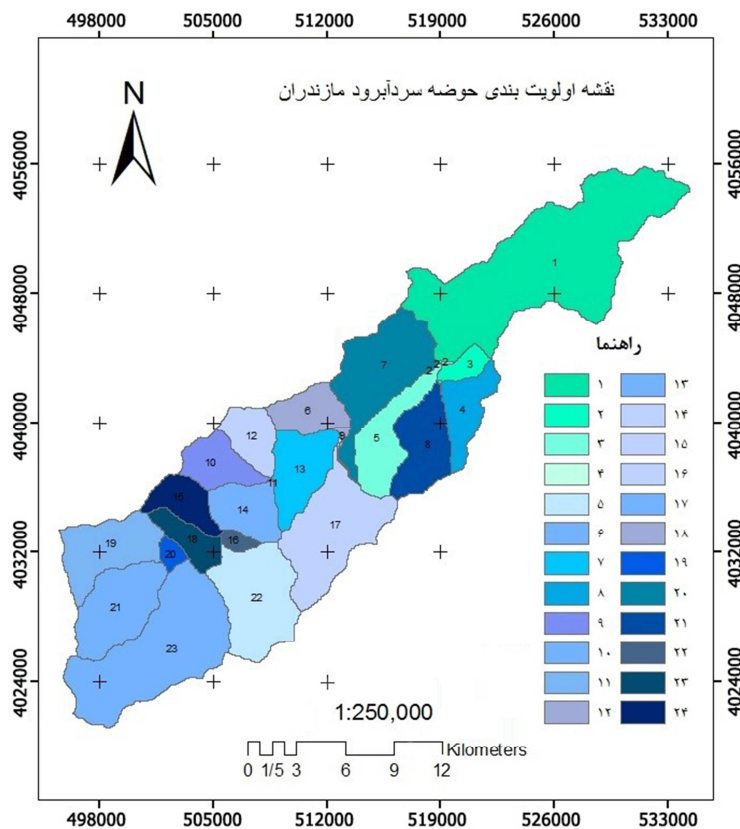
۱۸/۹۲۶۱۰۹	۹/۵۲۰۳۸۳	۱۵/۳۰۴۹۰۵	v_SOL_CBN().sol	۲۷
۰/۲۹۹۰۵۰	۰/۱۶۱۲۷۲	۰/۱۷۸۴۹۴	v_SOL_ALB().sol	۲۸
۰/۴۰۷۳۷۴	۰/۱۲۲۷۲۸	۰/۳۹۴۹۳۹	v_USLE_K().sol	۲۹
۴۶۴/۱۶۶۱۰۷	۲۳۹/۷۴۴۱۱۰	۳۶۲/۰۵۴۱۰۸	v_SOL_Z().sol	۳۰
۱۳۰/۶۷۰۲۴۲	۶۸/۴۳۰۷۴۰	۹۴/۲۶۰۱۳۲	v_SLSUBBSN.hru	۳۱

بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که مدل زمان وقوع مقادیر دبی اوج و دبی‌های پایه را به خوبی مدل‌سازی نموده است اما مقادیر دبی اوج را بیش‌تر از مقادیر واقعی برآورد نموده است، که متوسط دبی ماهانه شبیه‌سازی شده در طول دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی نیز مؤید این مطلب است. متوسط دبی ماهانه شبیه‌سازی شده در طول دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر $۷/۶۱$ و $۶/۲۰$ مترمکعب در ثانیه می‌باشند، در حالی که این مقادیر برای داده‌های واقعی در این دو دوره به ترتیب برابر $۶/۳۹$ و $۴/۸$ مترمکعب در ثانیه می‌باشند. به عبارت دیگر، در مجموع مدل در دوره واسنجی دبی متوسط ماهانه را $۱۹/۰۹$ درصد و در دوره اعتبارسنجی، $۲۲/۵۸$ درصد بیش‌تر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی نموده است. همچنین در انتها نقشه اولویت‌بندی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز سردآبرود نیز ترسیم شد که در شکل ۵ ارائه گردیده است.

بررسی سیل‌خیزی در حوزه آبخیز سردآبرود این نتیجه را نشان می‌دهد که با توجه به میزان دبی خروجی در هر زیرحوزه، بالابودن میزان رواناب در هر زیرحوزه نشانه سیل‌خیزی آن منطقه نمی‌باشد. با توجه به اینکه در روش شماره منحنی پارامتر نگهداشت رطوبت به صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی و شیب و به صورت زمانی با تغییرات رطوبت خاک تغییر می‌کند. لذا مناطقی که دارای کاربری نظیر جنگل و مراتع متراکم می‌باشند، میزان جذب تاج پوشش زیادی دارند و همچنین مناطقی که دارای شیب کم هستند دارای پتانسیل سیل‌خیزی کمتری نسبت به سایر مناطق می‌باشند.

جدول ۳: اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی

نام زیرحوزه	درصد پتانسیل رواناب	رتبه سیل‌خیزی	نام زیرحوزه	درصد پتانسیل رواناب	رتبه سیل‌خیزی
۱	۱۲/۳۳	۱	۱۳	۹۲/۴۴	۷
۲	۱۸/۹۵	۴	۱۴	۷۶/۶۳	۱۳
۳	۲۹/۷۰	۲	۱۵	۷۶/۸۵	۲۴
۴	۱۸/۸۶	۸	۱۶	۹۴/۷۷	۲۲
۵	۹۹/۰۸	۳	۱۷	۹۵/۱۶	۱۶
۶	۱۲۳/۰۵	۱۸	۱۸	۷۱/۴۷	۲۳
۷	۷۶/۸۵	۲۰	۱۹	۹۴/۸۷	۱۱
۸	۲۹/۴۹	۲۱	۲۰	۷۲/۰۲	۱۹
۹	۷۶/۵۸	۱۲	۲۱	۷۲/۳۲	۱۷
۱۰	۱۲۲/۸۶	۹	۲۲	۹۴/۲۵	۵
۱۱	۹۴/۸۷	۱۴	۲۳	۹۴/۸۱	۱۰
۱۲	۷۶/۳۴	۱۵	۲۴	۹۴/۱۷	۶



شکل ۵: نقشه اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز سردآبرود

نتیجه‌گیری

نقشه اولویت‌بندی خطر سیل می‌تواند در تعیین مکان‌های توسعه استفاده شود تا از ریسک آسیب‌پذیری مردم و خسارت کاربری‌ها بکاهد. و بیان می‌کند که در مناطقی که آسیب‌پذیری درجه بالایی دارد، عملیات کنترل سیلاب و سیستم‌های هشدار دهنده سیلاب در نظر گرفته شود.

درانجام پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه مسایل مربوط به برآورد حجم رواناب معمولاً به لحاظ نبود آمار و اطلاعات کافی و دقیق درحوضه‌های آبریز، محققان مجبور به تهیه مدل‌های تجربی یکپارچه می‌باشند که عملاً دقت کافی را نداشته و نمی‌تواند تمامی عوامل مؤثر مکانی حوضه در ایجاد رواناب را مورد مطالعه قرار دهد. در این پژوهش، کارایی استفاده از نتایج شبیه‌سازی آب سطحی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز سردآباد بررسی شد. جهت تجزیه و تحلیل نتایج از شاخص‌های آماری R^2 ، BR^2 و ضریب نش ساتکلیف استفاده گردید. که پس از واسنجی مدل این ضرایب به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۶۳، ۰/۷۷ و برای مرحله اعتبارسنجی آن ۰/۷۹، ۰/۷۶ و ۰/۷۱ برآورد گردید. نتایج آنالیز حساسیت، ۳۱ پارامتر مؤثر بر رواناب نشان داده شد و همچنین پارامترهای ثابت تخلیه آب زیرزمینی، زمان تأخیر آب زیرزمینی و حداقل مقدار ذخیره آب لازم برای ایجاد جریان

پایه به ترتیب حساسیت بیش‌تری دارند. برای سیل‌خیزی حوزه آبخیز سردآبرود از پارامتر شماره منحنی استفاده گردید. حوزه آبخیز سردآبرود به ۲۴ منطقه یا زیرحوزه تقسیم گردید، زیر حوزه شماره ۶ با مقدار رواناب ۱۲۳/۰۵ رتبه اول و هم‌چنین زیرحوزه شماره ۱۰ با مقدار ۱۲۲/۸۶ رتبه دوم را از نظر سیل‌خیزی دارا می‌باشد و زیرحوزه شماره ۱ با مقدار ۱۲/۳۳ کم‌ترین مقدار تولید رواناب را دارا می‌باشد. بررسی سیل‌خیزی در حوزه آبخیز سردآبرود این نتیجه را نشان می‌دهد که با توجه به این‌که در روش شماره منحنی پارامتر نگهداشت رطوبت به صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی و شیب و به‌صورت زمانی با تغییرات رطوبت خاک تغییر می‌کند، لذا زیرحوزه شماره ۵، ۲۳، ۶، ۱۰ و ۱۹ که در مناطق جنوبی حوزه و در ارتفاعات قرار دارند و از لحاظ کاربری اراضی، اکثر اراضی دارای کاربری مرتع از نوع متوسط و فقیر و مناطق مسکونی حاشیه رودخانه هستند، لذا ضریب جذب رواناب توسط پوشش گیاهی نسبت به سایر مناطق حوزه که اغلب دارای پوشش جنگلی و باغات هستند کم‌تر می‌باشد و همین امر سبب افزایش ارتفاع رواناب و احتمال وقوع سیلاب نسبت به سایر مناطق شده است. هم‌چنین زیرحوزه‌های شماره ۱، ۲ و ۴ که اکثراً در ارتفاع پایین قرار دارند و دارای پوشش جنگلی هستند با افزایش جذب رواناب توسط تاج پوشش جنگلی و هم‌چنین کاهش شیب دارای پتانسیل سیل‌خیزی پایین‌تری نسبت به سایر مناطق می‌باشند.

به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که نقشه‌های پهنه‌بندی خطرات طبیعی به مدیریت غیرسازه‌ای سیل کمک می‌کنند و به برنامه‌ریزان این امکان را می‌دهند تا بخش‌های امن‌تر از نظر سیل‌خیزی را برای توسعه انتخاب کنند. با استفاده از ایجاد دیوارهایی مناسب جهت کاهش خطر می‌توان اقدام نمود. یکی دیگر از پیشنهادات مقاوم سازی ساختمان‌های اطراف رودخانه برای کاهش خسارات ناشی از سیل می‌باشد.

منابع

- امیراحمدی ابوالقاسم، بهنیافر ابوالفضل، ابراهیمی مجید (۱۳۹۱)، ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۵، شماره ۱۶، صص ۳۲-۱۷.
- دهمده‌قلعه‌نو محمد رضا، شهریاری علیرضا، صابری مرتضی، خطیبی رسول (۱۳۹۲)، بررسی چگونگی بهره‌برداری از منابع طبیعی و اثر آن بر بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه هامون سیستان)، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۲۰، شماره ۴، صص ۶۸۵-۶۷۹.
- رتوف مجید، عزیزی‌مبصر جوانشیر، سلحشور آیت (۱۳۹۵)، تخمین پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی حوزه آبخیز با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه بالخلوچای)، نشریه دانش آب و خاک، دوره ۲۶، شماره ۴/۲، صص ۱۸۵-۱۷۳.
- زایری محمدرضا، شفاعی بجستان محمود (۱۳۹۷)، بررسی تأثیر حذف پیچانرود بر الگوی جریان و رسوب رود کارون با استفاده از نرم‌افزار CCHE2D، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی منابع آب، دوره ۱۱، شماره ۳۸، صص ۱۰۶-۹۵.
- سعادت، حسین. (۱۳۸۱). بررسی اثرات کاربری اراضی بر روی شبیه سازی دبی روزانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه معرف کسلیان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، صص ۱۲۱.
- شریفی فرود، نوروزی غلامرضا (۱۳۸۱)، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، کلید توسعه منابع زیستی، مجله جنگل و مرتع، شماره ۵۶، صص ۳۳-۲۲.
- طالبی‌زاده، منصور. مرید، سعید. (۱۳۸۷)، کالیبراسیون و آنالیز عدم قطعیت یک مدل هیدرولوژی (SWAT) با روش SUFI در برآورد غلظت رسوب. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. دانشگاه تبریز، ۲۳ تا ۲۵ مهر ۱۳۸۷، صص ۷-۱.

علوی نیا، مرتضی، نصیری صالح، فرزین. (۱۳۸۹)، «مقایسه مدل HSPF و مدل SWAT در شبیه سازی رسوب (مطالعه موردی: حوضه آبریز ابرو)». پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، صص ۸-۱.

علیزاده امین، ایزدی عزیزاله، داوری کامران، ضیایی علینقی، اخوان سمیرا، حمیدی زهرا (۱۳۹۲)، برآورد تبخیر- تعرق واقعی در مقیاس سال - حوضه با استفاده از SWAT، مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۷، شماره ۲، صص ۲۴۳-۲۵۸.

کارآموز محمد، احمدی آزاده، طاهریان مسعود (۱۳۸۸)، ارزیابی اثرات بهترین راهکارهای مدیریتی در حوزه آبخیز بر بهره برداری کمی و کیفی مخزن، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۳، شماره ۹، صص ۱۷-۹.

کریمی صادق (۱۳۹۴)، شبیه سازی رواناب با استفاده از شبکه عصبی موجکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رود خرسان ۳)، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی منابع آب، دوره ۸، شماره ۲۴، صص ۱۴-۱.

کوچک زاده محمدحسین، نصیری صالح فرزین (۱۳۹۳)، بررسی کارایی استفاده از نتایج شبیه سازی آب سطحی در افزایش دقت شبیه سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان کم عمق دشت سیلاخور در استان لرستان، مهندسی عمران مدرس، دوره ۱۴، شماره ۳، صص ۱۳۸-۱۲۹.

Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang H, & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.

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

Betrie, G.D., Mohamed, Y.A., Van Griensven, A., & Srinivasan, R. (2011). Sediment management modeling in the Blue Nile Basin using SWAT model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3), 807-818.

González-Lemos, S., Jiménez-Sánchez M, M., & Stoll, H. (2015). Sediment transport during recent cave flooding events and characterization of speleothem archives of past flooding. *Geomorphology*, 1-50.

Nash, J.E., & Sutcliffe, T.E. (1970). River flow forecasting through Conceptual model, Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.

Omani, N., Tajrishy, M., & Abrishamchi, A. (2007). Modeling of a river basin using the SWAT model and SUFI-2, 4th International Conference of SWAT Model. UNESCO-IHE Delft, Netherlands 4-6 July, 1-8.

Zhi, L., WenZhao, L., XunChang, Z.H., & FenLi, Z.H. (2010). Assessing and regulating the impacts of climate change on water resources in the Heihe watershed on the Loess Plateau of China. *Science China Earth Sciences*, 53(5), 710-720.

Research Article

Prioritization of Sardab-Rood watershed from flooding viewpoint using the SWAT model

Behnaz saraie¹, Ali Talebi*², Ahmad Mazidi³, Sara Parvizi⁴

Received: 25-02-2019

Revised: 18-06-2019

Accepted: 11-09-2019

Abstract

Floods are a natural phenomenon that causes heavy losses of life and property and human societies every year and people have accepted it as an inevitable event. In this research, to predict the flooding in Sardabrood basin SWAT hydrological model was used. Information needed for this research, including topographic maps, land use, soil data, and meteorological data, data about daily rainfall, temperature, and flow rate were prepared beforehand. SUFI2 program was used for model calibration. After the calibration and optimization of the model, validation of the model in the study area was done. The calibration of the model was performed for the years 2003 to 2009 and validation was performed for the years 2010 to 2013. To analyze the results of statistical indicators R2, bR2, and Nash Sutcliffe coefficient were used. After model calibration the respective coefficients were, 0.77, 0.63, and 0.77 and the respective validation coefficients were 0.79, 0.76, and 0.71. The sensitivity results of 31 parameters that are influential on runoff water showed that fixed parameters of groundwater base flow, its time, and the minimum amount of water necessary for groundwater base flow are more sensitive than other parameters. Number Sardabrood parameter curves were used for flood basin. Sardabrood basin was divided into 24 areas to study the flooding pattern. Finally using the above mentioned models it was concluded that sub basin No. (6) had the first-rank with runoff 123.05, sub basin No. (10) had the second rank with runoff in terms of flooding and sub basin No. 1 with a 12.33 has the least amount of runoff.

Keywords: flooding, flood management, SWAT model, Sardabrood basin.

¹- Msc student of Geography, Faculty of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

^{2*}- Professor of Hydrology, Faculty of Natural resources, Yazd University, Yazd, Iran

³- Associate Professor of Geography, Faculty of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

⁴- M.Sc. Graduate, Department of Watershed Management Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Email: talebisf@yazd.ac.ir

References

References (in Persian)

- Alaviniya, M., Nasirisaleh, F., (2010), Compare HSPF and SWAT model to simulate sediment (Case study: Abro catchment), 5th National Congress of Civil Engineering, Mashhad, Mashhad Ferdowsi University, 2-4 May 2010, pp. 1-8. [In Persian]
- Alizadeh, A., Izady, A., Davary, K., Ziaei, A.N., Akhavan, S., & Hamidi, Z., (2013), Estimation of actual evapotranspiration at regional – annual scale using SWAT, Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 7(2), pp. 243-258. [In Persian]
- Amirahmadi, A.Gh., Behniafar, A., & Ebrahimi, M., (2012), Microzonation of flood risk in Sabzevar suburb with the aim of sustainable urban development, Journal of Environmental Planning, 5(16), pp. 17-32. [In Persian]
- Dahmardeh Ghaleno, M.R., Shahriari, A., Saberi, M., & Khatibi, R., (2013), Investigation on the effect of natural resources exploitation on desertification (Case study: Hamoon, Sistan), Iranian Journal of Range and Desert Reseach, 20(4), pp.679-685. [In Persian]
- Karamouz, M., Ahmadi, A., & Taherian, M., (2009), Assessment of watershed best management practices on the reservoir quality and quantity operation, Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 3(9), pp. 9-16. [In Persian]
- Karamouz, M., Taheriyoun, M., Emami, F., & Rouhanizadeh, B., (2008), Assessment of best management practices on reducing a load of nutrients to the dam reservoir, 3rd Iran Water Resources Management Conference, Tabriz, Tabriz University. pp. 1-9. [In Persian]
- Karimi, S., (2015), Runoff simulation using the neural-wavelet network (Case study: Watershed Khersan3 river).8(24), pp. 1-14. [In Persian]
- Kouchakzadeh, M., & Nasiri Saleh, F., (2014), Evaluation of the efficiency of using surface water simulation results to improve the accuracy of groundwater simulation in Silakhor shallow aquifer located in Lorestan province (Iran), Modarres Civil Engineering Journal, 14(3), pp. 129-138. [In Persian]
- Raof, M., Azizi Mobaser, J., & Salahshour A., (2017), Estimating hydrological and hydrogeological parameters of a watershed using SWAT model (Case study: Balukhlu-chay basin), Water and Soil Science, 26(4.2), pp. 173-185. [In Persian]
- Saadati, H., (2002), Effects of land use on simulating daily discharge flow using SWAT mathematical model (Case Study: Kasilian catchment area), Master Thesis in Watershed Management, Tarbiat Modares University, 121p. [In Persian]
- Sharifi, F., & Norouzi, Gh.R., (2002), Integrated watershed management, the key to the development of biological resources, Forest and Range, 56, pp. 22-33. [In Persian]
- Talebizadeh, M., & Marid, S., (2008), SWAT hydrological model calibration and uncertainty analysis with SUFI method for estimating sediment concentration, 3rd Iran Water Resources Management Conference, Tabriz, Tabriz University. pp. 1-7. [In Persian]
- Zaeri, M.R., & Shafaeabajestan, M., (2018), Flow and sediment assessment in a cut off Meander of Karun river using CCHE2D model, Water Resources Engineering, 11(38), pp. 95-106. [In Persian]

References (in English)

- Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang H, & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.
- Arnold, J.G., (2001). Soil and water Assessment tool (Appendix A: Model fact sheets), <http://www.brc.tamus.edu/SWAT/index.htm>.
- Betrie, G.D., Mohamed, Y.A., Van Griensven, A., & Srinivasan, R. (2011). Sediment management modeling in the Blue Nile Basin using SWAT model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3), 807-818.
- González-Lemos, S., Jiménez-Sánchez M, M., & Stoll, H. (2015). Sediment transport during recent cave flooding events and characterization of speleothem archives of past flooding. *Geomorphology*, 1-50.
- Nash, J.E., & Sutcliffe, T.E. (1970). River flow forecasting through Conceptual model, Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.
- Omani, N., Tajrishy, M., & Abrishamchi, A. (2007). Modeling of a river basin using the SWAT model and SUFI-2, 4th International Conference of SWAT Model. UNESCO-IHE Delft, Netherlands 4-6 July, 1-8.
- Zhi, L., WenZhao, L., XunChang, Z.H., & FenLi, Z.H. (2010). Assessing and regulating the impacts of climate change on water resources in the Heihe watershed on the Loess Plateau of China. *Science China Earth Sciences*, 53(5), 710-720.