

شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب حوضه آبخیز رودخانه هراز مازندران با بهره‌گیری از الگوی SWAT

عطاءالله کاویان- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
محمد گلشن* - دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
حامد روحانی- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس
اباذر اسمعیلی عوری- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

چکیده

با توجه به احداث سد در خروجی حوضه آبخیز هراز با مساحت ۴۰۱ هزار و ۹۲۷ هکتار، شبیه‌سازی رواناب و رسوب حاصل از بارش حایز اهمیت است. برای این منظور، از الگوی SWAT استفاده شد. واسنجی الگو به‌منظور شبیه‌سازی رواناب برای سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ انجام گرفت و با استفاده از نمایه‌های آماری R^2 ، NS و MSE ارزیابی شد. نتایج نشان داد مقادیر آماره‌ها به ترتیب در ایستگاه‌های کره‌سنگ $0/80$ ، $0/77$ و $20/93$ ، چلاو $0/75$ ، $0/73$ و $1/23$ ، رزن $0/79$ ، $0/75$ و $5/91$ و پنجاب $0/68$ ، $0/55$ و $2/7$ بود. همچنین، واسنجی رسوب در ایستگاه کره‌سنگ برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ صورت گرفت و به ترتیب مقادیر آماره‌ها $0/61$ ، $0/60$ و 60 هزار تن به‌دست آمد. به‌منظور اعتبارسنجی نتایج، این الگو برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ اجرا شد. مقادیر ضرایب آماری R^2 ، NS و MSE به ترتیب در ایستگاه‌های کره‌سنگ $0/87$ ، $0/75$ و $10/17$ ، چلاو $0/83$ ، $0/77$ و $0/21$ ، رزن $0/81$ ، $0/72$ و $1/34$ و پنجاب $0/75$ ، $0/70$ و $0/67$ بود. برای اعتبارسنجی بار رسوب نیز از آمار سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ استفاده شد که به ترتیب مقادیر $0/68$ ، $0/53$ و 136 هزار تن به‌دست آمد. نتایج نشان‌دهنده زیاد بودن دقت شبیه‌سازی دبی جریان به ترتیب در ایستگاه‌های کره‌سنگ، رزن، پنجاب و چلاو است.

کلیدواژه‌ها: الگوی SWAT، حوضه هراز، رسوب، رواناب، SUF12

مقدمه

شبیه‌سازی فرایندهای آب‌شناختی به دلیل هزینه زیاد برای اندازه‌گیری و محدود بودن داده‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است؛ از طرف دیگر، موضوع الگوسازی رسوب توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است؛ اما کمبود آمار، منابع و روش‌هایی با مقبولیت زیاد از موانع مسیر پژوهش است (شیمیلیز و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۱۴؛ اندومبا و همکاران، ۲۰۰۸: ۵۴؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۴). بنابراین، به روشی احتیاج است تا به‌وسیله آن بتوان آمار موجود را برای حوضه‌های آبخیز بدون آمار یا مکان‌هایی تعمیم داد که اندازه‌گیری در آنها امکان‌پذیر نیست و به تغییرات آب‌شناختی دست پیدا کرد. هدف

اصلی استفاده از الگوهای آب‌شناسی، شبیه‌سازی رفتار حوضه آبخیز و پیش‌بینی اثر تغییرات شرایط حوضه و متغیرها بر عملکرد سامانه آبخیز است (پیسیناراس و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۷۸). با الگوهای آب‌شناسی می‌توان به شبیه‌سازی فرایندهای آب‌شناختی سطح زمین به‌منظور بهبود مدیریت منابع آب پرداخت (دو و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۴۰). امروزه، سامانه اطلاعات جغرافیایی، ابزار معمول مورد استفاده در مدیریت منابع طبیعی به‌ویژه آبخیزهاست که با مجموعه‌های متعددی از بانک‌های اطلاعاتی مانند نقشه‌های رقومی ارتباط دارد. سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی برای پیش‌بینی نتایج فعالیت‌های مدیریتی طراحی شده و توسعه یافته است. برای آگاهی از شرایط سامانه، عوامل پویایی آن باید در نظر گرفته شود. در این پژوهش، فرض بر این است که الگوی SWAT قابلیت شبیه‌سازی رواناب و مقدار رسوب را در مقیاس حوضه آبخیز دارد و استفاده از الگوی توزیعی و فرایندی عدم قطعیت ناشی از سامانه‌هایی با فرض یکپارچگی^۱، ثابت و خطی را به کمترین حد می‌رساند. علاوه بر این، الگوی SWAT دارای مزایای خاصی برای بررسی اثرهای تغییرات حوضه و کاربرد در حوضه‌هایی با آمار مشاهداتی محدود است (بترست، ۲۰۰۲: ۵۰). مؤلفه‌های این الگو بر پایه فیزیکی بوده، قابل اندازه‌گیری در سطح حوضه است؛ بنابراین اعتبارسنجی این الگو بر اساس سری کوتاه‌مدت هواشناسی و هیدرومتری برای سطح کوچکی انجام‌گرفته است (بترست، ۲۰۰۲: ۵۰). در این زمینه، نامدار (۱۳۹۳) با استفاده از الگوی SWAT اقدام به شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه حوضه آبخیز هراز در ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ (واقع در خروجی حوضه) کرد؛ ضرایب R^2 و NS به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۰ به دست آمد که نشان‌دهنده پذیرفتنی بودن شبیه‌سازی دبی جریان حوضه آبخیز هراز در این ایستگاه است. گلشن و همکاران (۱۳۹۳) کارایی الگوی SWAT در شبیه‌سازی دبی جریان حوضه آبخیز چلاو واقع در حوضه آبخیز هراز را ارزیابی کردند؛ ضرایب R^2 و NS به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۵۵ به دست آمد که نشان‌دهنده قابلیت این الگو برای شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های کوچک است. سلمانی و همکاران (۱۳۹۰) با به‌کارگیری الگوی SWAT و روش‌های Parasoil و SUFI2 اقدام به شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان کردند که نتایج نشان داد روش SUFI2 از قابلیت بهتری برخوردار است. ابراهیمی (۱۳۹۰) در شبیه‌سازی مقدار رواناب و بار رسوب حوضه رودخانه دویرج در استان ایلام با استفاده از الگوی SWAT بیان داشت این الگو قابلیت شبیه‌سازی این دو متغیر را به‌خوبی دارد و شبیه‌سازی رواناب نسبت به شبیه‌سازی رسوب از دقت بیشتری برخوردار است. در هندوستان، شری‌واستاوا^۲ و همکاران (۲۰۰۴) به‌منظور برآورد مقدار رواناب و رسوب روزانه و ماهانه حوضه آبخیز چوکرنا^۳ این الگو را به‌کار بردند. نتایج این تحقیق با داده‌های مشاهداتی منطقه به‌خوبی مطابقت می‌کرد. کلیمنت^۴ و همکاران (۲۰۰۸) دو الگوی SWAT و AnnAGNPS را برای یک دوره، در حوضه رودخانه بلسانکا در جمهوری چک بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که برآورد حاصل از شبیه‌سازی الگوی SWAT مطابقت بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد. دوان و همکاران (۲۰۰۹)^۵ در حوضه آبخیز چاوهای^۶ چین، برای برآورد مقدار رواناب و بار رسوبی از الگوی SWAT

1. Lump
2. Shrivastava
3. Chhokeranala
4. Kliment
5. Duanal
6. chaoh

استفاده کردند؛ واسنجی این الگو، مقادیر ضریب ناش- ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین (R^2) شبیه‌سازی جریان رواناب را به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۰ تعیین کرد و برای شبیه‌سازی رسوب به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۶ را نشان داد. با اینکه نتایج برآورد رواناب از دقت زیادی نسبت به تخمین رسوب برخوردار است، در کل نتایج شبیه‌سازی رضایت بخش بود. الانصاری و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از الگوی SWAT مقدار بار رسوب و دبی وارد شده از ساحل سمت چپ سد موصل را برای دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که متوسط جریان آب و بار رسوب سالانه به ترتیب ۱۳/۸ میلیون مترمکعب و ۷۰۲ میلیون مترمکعب است که با داده‌های مشاهداتی مطابقت داشت. ون‌گرینسون و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از الگوی SWAT و SOBEK-RE مقدار بار رسوب را در شاخه اصلی و فرعی رودخانه سامبیای تانزانیا برآورد کردند. جبرمیکائل و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی مقدار جریان رواناب و بار رسوب را در بالادست حوضه نیل آبی بررسی کردند که نتایج رضایت‌بخش ارزیابی شد. در پژوهشی پوپسکو و همکاران (۲۰۱۳) کارایی الگوی آب‌شناختی (SWAT) و الگوی آب‌پویایی‌شناسی (SOBEK-RE) را ارزیابی کردند که مقدار کل بار رسوب شبیه‌سازی شده در خروجی اصلی حوضه به وسیله الگوی SWAT و SOBEK-RE به ترتیب برابر با ۲/۹۴ و ۲/۷۲ میلیون تن در سال بود که نتایج هر دو الگو، پذیرفتنی ارزیابی شد. پاراچولی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از الگوی SWAT تأثیر تناوب کشت و عمق شخم را بر مقدار رسوب بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که به طور کلی ضریب R^2 بین ۰/۶۸ تا ۰/۸۳ و ضریب NS بین ۰/۵۱ تا ۰/۶۳ متغیر است. در پژوهشی سامرلوت و همکاران (۲۰۱۳) از سه الگوی SWAT، HIT^۱ و RUSLE2^۲ در مقیاس حوضه به منظور شبیه‌سازی رسوب استفاده کردند؛ نتایج نشان داد که الگوی SWAT بیشترین دقت و الگوی HIT کمترین دقت را دارد.

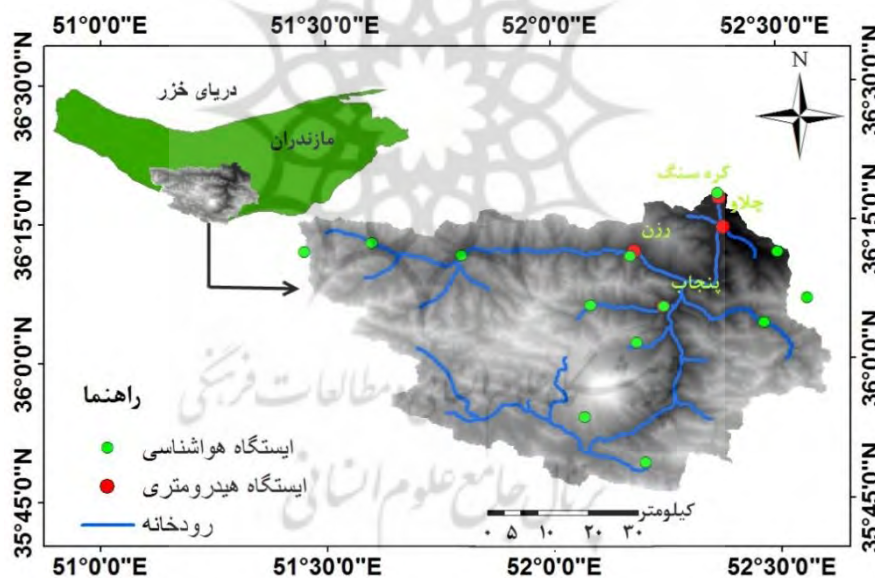
فرسایش غالب در حوضه هراز به دلیل رخداد بارش‌هایی با شدت زیاد، توپوگرافی شیب‌دار و پراکنده و خاک مستعد به فرسایش، دارای الگوهای مختلفی است و هدررفت خاک در این منطقه زیاد است. از آنجا که تخریب زیست‌محیطی و هدررفت خاک خطری جدی برای توسعه پایدار و انعطاف‌پذیری بوم‌سازگان‌ها به شمار می‌رود، نیاز روزافزون به مدیریت مؤثر حوضه آبخیز به منظور کنترل هدررفت خاک در این منطقه وجود دارد. همچنین، با توجه به کاربرد الگوی SWAT که برای درک فرایندهای آب‌شناختی و توسعه شیوه‌های مدیریتی در حوضه آبخیز استفاده می‌شود، ارزیابی این الگو در مناطق کوهستانی ضروری است. در مجموع، با توجه به شرایط خاص آب‌وهوایی و توپوگرافی حوضه آبخیز هراز و احداث سد در محل ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ واقع در خروجی این حوضه، شبیه‌سازی و بار رسوبی آن به منظور مدیریت این حوضه از اهمیت زیادی برخوردار است؛ در نتیجه در این تحقیق، کارایی الگوی SWAT برای برآورد رواناب و رسوب حاصل از بارش به منظور مدیریت بهینه منابع آب و خاک در حوضه آبخیز هراز بررسی شد.

محدوده پژوهش

محدوده این پژوهش حوضه آبخیز هراز با مختصات ۵۳۹۰۲۲ تا ۶۲۲۲۳۶ طول شرقی و ۳۹۲۳۰۳۳ تا ۴۰۰۹۲۰۸ و با

1. High Impact Targeting
2. Revised Universal Soil Loss Equation

وسعت $401409/2$ هکتار است که در جنوب استان مازندران و شهرستان آمل واقع شده است. حوضه آبخیز هزار دارای وسعت زیادی است و با متوسط آبهی $31/10$ مترمکعب بر ثانیه، پرآب‌ترین رودخانه در استان مازندران به حساب می‌آید. این حوضه در منطقه شمالی کشور پس از سفیدرود در رتبه دوم قرار می‌گیرد که یکی از سه رودخانه پرآب شمال کشور محسوب می‌شود. کمینه ارتفاع حوضه 300 متر و بیشینه ارتفاع آن 5600 متر است. متوسط مقدار بارندگی سالانه از کمینه مقدار 302 میلی‌متر در بخش تقریباً مرکزی حوضه تا بیشترین حد 1069 میلی‌متر در بخش شرقی حوضه در نوسان است. همچنین، متوسط دمای منطقه از کمینه مقدار 5 درجه سانتی‌گراد تا بیشترین مقدار $23/1$ درجه سانتی‌گراد متغیر است. متوسط دمای سالانه منطقه حدود 8 درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. متوسط تبخیر سالانه منطقه حدود 1300 میلی‌متر است. بیشترین روزهای یخبندان ماهانه متعلق به دی است و بیشترین تعداد روز یخبندان ثبت شده در سال در منطقه، 165 روز است و بر اساس تقسیمات آب‌وهوایی جزء مناطق نیمه‌استپی سرد در ناحیه ایران توران محسوب می‌شود. در منطقه پژوهش، بر اساس نقشه‌ها و مشخصات آب‌وهوایی موجود، رژیم حرارتی مزیک^۱ تشخیص داده شده است.



شکل ۱. محدوده پژوهش

شبیه‌سازی رواناب سطحی در الگوی SWAT

شبیه‌سازی رواناب سطحی در الگوی SWAT با دو روش زیر صورت می‌گیرد:

الف) گرین-آمپ: در این روش با استفاده از محاسبه‌های رواناب، داده‌های بارش و هدایت آب‌پویایی شناختی مقدار

رواناب محاسبه می‌شود. برای تعیین رواناب سطحی در SWAT از روش گرین-آمپت و لارسون-مین استفاده شده است. مقدار نفوذپذیری از روش لارسون-مین و گرین-آمپت با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$F_{inf} = K_e \times \left(1 + \frac{\Psi_{wf} + \Delta\theta_v}{F} \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، مقدار نفوذپذیری در واحد زمان؛ K_e هدایت آب‌پویایی شناختی مؤثر؛ Ψ_{wf} ظرفیت ماتریک جبهه رطوبتی؛ $\Delta\theta_v$ تغییرات رطوبت حجمی رطوبتی؛ F_{inf} نفوذپذیری تجمعی در زمان است (نتیج، ۲۰۰۵: ۱۰۳).
(ب) منحنی SCS: در این روش، شماره منحنی خاک و مقدار نفوذ و آب تأثیر ویژه‌ای دارد. این روش، تجربی بوده، در سال ۱۹۵۰ توسط سازمان حفاظت آب و خاک آمریکا استفاده شد. این رابطه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 2/OS)^2}{(R_{day} - 8/OS)} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن Q_{surf} ارتفاع رواناب؛ R_{day} ارتفاع باران؛ S مؤلفه نگهداشت خاک است؛ این مؤلفه از نظر مکانیکی به علت تغییرات در خاک، کاربری اراضی، مدیریت و شیب و از نظر زمانی به علت تغییر در مقدار آب و خاک در واحدهای مختلف متغیر بوده، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = 4/25 \left[\left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right] \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن CN شماره منحنی بوده، از جدول‌های تهیه‌شده به منظور تعیین مقدار CN به دست می‌آید.

شبیه‌سازی رسوب در الگوی SWAT

پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک ناشی از باران و رواناب در الگوی SWAT، بر اساس الگوی MUSLE است. در این روش، از رواناب سطحی به منزله عامل فرسایش استفاده می‌شود. SWAT تأخیر انتقال رسوب در سطح، تأثیر پوشش برف بر فرسایش، رسوب در جریان جانبی و آب زیرزمینی را نیز محاسبه می‌کند. الگوی MUSLE به صورت زیر در الگوی SWAT استفاده می‌شود:

$$Sed = 8/11 (AQS)^{56/0} KCPLS \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه، Sed مقدار رسوب در یک روز بر حسب تن؛ A رواناب سطحی بر حسب میلی‌متر در هکتار؛ Q بیشترین سیلاب بر حسب مترمکعب در ثانیه؛ S مساحت واحدهای آب‌شناختی همگن بر حسب هکتار؛ K شاخص فرسایش خاک در الگوی USLE؛ C شاخص مدیریت در الگوی USLE؛ P شاخص روش‌های حفاظتی در الگوی USLE؛ LS شاخص توپوگرافی در الگوی USLE است.

روندیابی رسوب از طریق این الگو شامل فرایند ته‌نشست و برداشت است که به طور همزمان اداره می‌شود. فرایند ته‌نشست بر اساس سرعت سقوط و فرایند برداشت بر اساس مفهوم قدرت جریان اصلاح شده است. سرعت سقوط به مثابه تابعی از قطر مربع ذرات با استفاده از قانون استوک تخمین زده می‌شود. قدرت بیش از حد، جریان تخریب بستر را ایجاد می‌کند که به وسیله فرسایش‌پذیری خاک USLE، عامل پوشش کانال و دشت سیلابی تنظیم می‌شود. در الگوی

SWAT، از حجم رواناب و بیشترین دبی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری برای محاسبه حجم رسوب استفاده می‌شود.

تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی الگوی SWAT

به منظور بهبود کیفیت واسنجی و تحلیل عدم قطعیت در نتایج الگوی SWAT، از روش SUFI2 در نرم‌افزار SWAT-CAP استفاده شد. الگوریتم SUFI2 واسنجی و عدم قطعیت را ترکیب کرده، با استفاده از رویکرد واسنجی خودکار، مؤلفه‌های عدم قطعیت را به نحوی تعیین می‌کند که بیشتر داده‌های مشاهده‌ای در ناحیه عدم قطعیت تعیین شده قرار گیرد. الگوریتم SUFI2 در برنامه SWAT-CUP، در گام‌های متوالی، عدم قطعیت الگو را کاهش می‌دهد تا دو شرط زیر برقرار شود:

۱. بیشتر داده‌های مشاهده‌ای در سطح PPU ۹۵ واقع شود ($p \rightarrow \text{factor}$);

۲. فاصله متوسط بین حد زیاد و کم، در طیف ۹۵ درصد عدم قطعیت تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده تا حد ممکن کوچک شود ($R \rightarrow \text{factor}$).

در سال‌های اخیر، الگوسازی معکوس (IM) روشی معمول برای واسنجی الگوها شده است. با توجه به اینکه انتخاب مقادیر مختلف برای پارامتراسیون و واسنجی الگو محدود و پرهزینه است، الگوسازی معکوس جایگزین مناسبی برای واسنجی الگو و انتخاب مقادیر مناسب برای مؤلفه‌هاست. روش SUFI2 الگویی معکوس است که برای واسنجی و تحلیل عدم قطعیت استفاده می‌شود (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱).

ارزیابی کارایی الگو

برای ارزیابی کارایی الگو و برای به دست آوردن بهترین واسنجی و محدود کردن جواب‌ها به سمت جواب یگانه، گاهی لازم است چندین معیار آماری استفاده شود. در این پژوهش، ارزیابی الگو به کمک ضریب NS (ناش-سانتکلیف)، ضریب همبستگی (R^2)، مجموع مربعات باقی مانده (MSE)، r factor و P factor انجام گرفت؛ بنابراین در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری در سطح 95PPU قرار گرفت. در هر مرحله، مؤلفه‌های قبلی تجدید نظر شد و فاصله اطمینان ۹۵ درصد مؤلفه‌ها بر اساس ماتریکس همبستگی کاهش یافت و نیز عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش یافت.

ضریب همبستگی (R^2): نشان دهنده قسمتی از تغییرات کل یا واریانس کل مقادیر مشاهده‌ای است که به وسیله مقادیر شبیه‌سازی شده توجیه می‌شود. این ضریب بین صفر تا یک متغیر است؛ چنانچه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برابر باشند، مقدار آن برابر با یک است:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \bar{Q}_i^{sim})(Q_i^{obs} - \bar{Q}_i^{obs})]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \bar{Q}_i^{sim})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \bar{Q}_i^{obs})^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن n تعداد مشاهدات؛ O_i و P_i مقادیر متناظر مشاهده و پیش‌بینی شده؛ \bar{O} و \bar{P} نیز میانگین ریاضی مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده است (سانتی و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۱۷۰).

ضریب NS: ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد. محققان از این شاخص برای ارزیابی الگوها استفاده کرده‌اند. این ضریب با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$NS = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]} \quad \text{رابطه ۶}$$

که در آن، O_i مقادیر مشاهده‌شده؛ P_i مقادیر شبیه‌سازی‌شده؛ \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده‌شده است. مقدار این ضریب بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. بهترین مقدار برای ضریب NS ، یک است و در صورتی که مقدار آن بیشتر از $0/5$ باشد، نشان‌دهنده این است که شبیه‌سازی با استفاده از الگوی خوب انجام گرفته است (گاسمن و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۲۱۶).

همچنین، P-factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای پوشش داده‌شده مساوی باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد (95PPU) و R-factor نیز عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای پوشش داده‌شده مساوی باند تخمین ۹۵ درصد. با توجه به اینکه با افزایش P-factor، مقدار R-factor نیز افزایش می‌یابد، محاسبه‌ها تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تعادلی بین این دو شاخص برقرار شود و این زمانی رخ می‌دهد که بیشتر داده‌های مشاهداتی در باند تخمین 95PPU واقع شود.

داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش شامل داده‌های عددی و هیدروکلیماتولوژی است. لایه‌های GIS شامل لایه‌های مدل رقومی ارتفاع، لایه کاربری اراضی و خاک منطقه است. داده‌های عددی و هیدروکلیماتولوژی شامل داده‌های مربوط به ۲۱ ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه است. در جدول ۱، مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده‌شده آورده شده است. در شکل ۱، موقعیت این ایستگاه‌ها در حوضه این پژوهش نشان داده شده است. ایستگاه سینوپتیک بلده نیز ایستگاه مرجع هواشناسی در این پژوهش بوده است.

جدول ۱. مساحت و تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری محدوده پژوهش

نام ایستگاه	رودخانه	ارتفاع	تأسیس	مساحت (KM ²)	نوع ایستگاه
پنجاب	نمارستاق	۹۷۴	۱۹۷۳	۱۳۰	درجه ۳
رزن	نور	۱۲۵۵	۱۹۶۹	۱۱۸۲	درجه ۴
چلاو	چلاو	۴۵۶	۱۹۹۸	۲۳۶	درجه ۴
کره سنگ	هراز	۳۳۶	۱۹۵۰	۴۰۱۹	درجه ۱

یافته‌های تحقیق

در محیط Arc SWAT، منطقه بررسی‌شده به ۲۵ زیرحوضه تقسیم شد. به دلیل وجود تنوع در نقشه کاربری اراضی و خاک و برای اطمینان از تفکیک‌پذیری زیاد، واحدهای آب‌شناختی به صورت چندگانه برای هر زیرحوضه تعریف شد و این کار با تعیین دست کم پنج درصد سطح، برای طبقه‌های کاربری اراضی، خاک و طبقات شیب صورت گرفت و در نهایت،

حوضه به ۹۱ اجزای واحد آب‌شناختی (HRU) تقسیم شد. در ادامه، برای واسنجی و اعتبارسنجی، ابتدا بیست مؤلفه مؤثر در جریان انتخاب شد و مقادیر اولیه آنها بر اساس جدول پایه فهرست شده در راهنمای SWAT (نیتج و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۰۳)، به نرم‌افزار SWAT CUP وارد شد. پس از یک تکرار ششصدتایی به صورت جداگانه و با استفاده از الگوریتم SUFI2، هشت مؤلفه برای شبیه‌سازی رواناب و پنج مؤلفه برای شبیه‌سازی بار رسوب تحت عنوان مؤلفه‌های حساس تعیین شد. جدول ۲ مؤلفه‌های مؤثر بر دبی جریان و بار رسوب را در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت انجام گرفته برای این مؤلفه‌ها در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۲. مؤلفه‌های الگو و محدوده تغییرات در الگوی SWAT

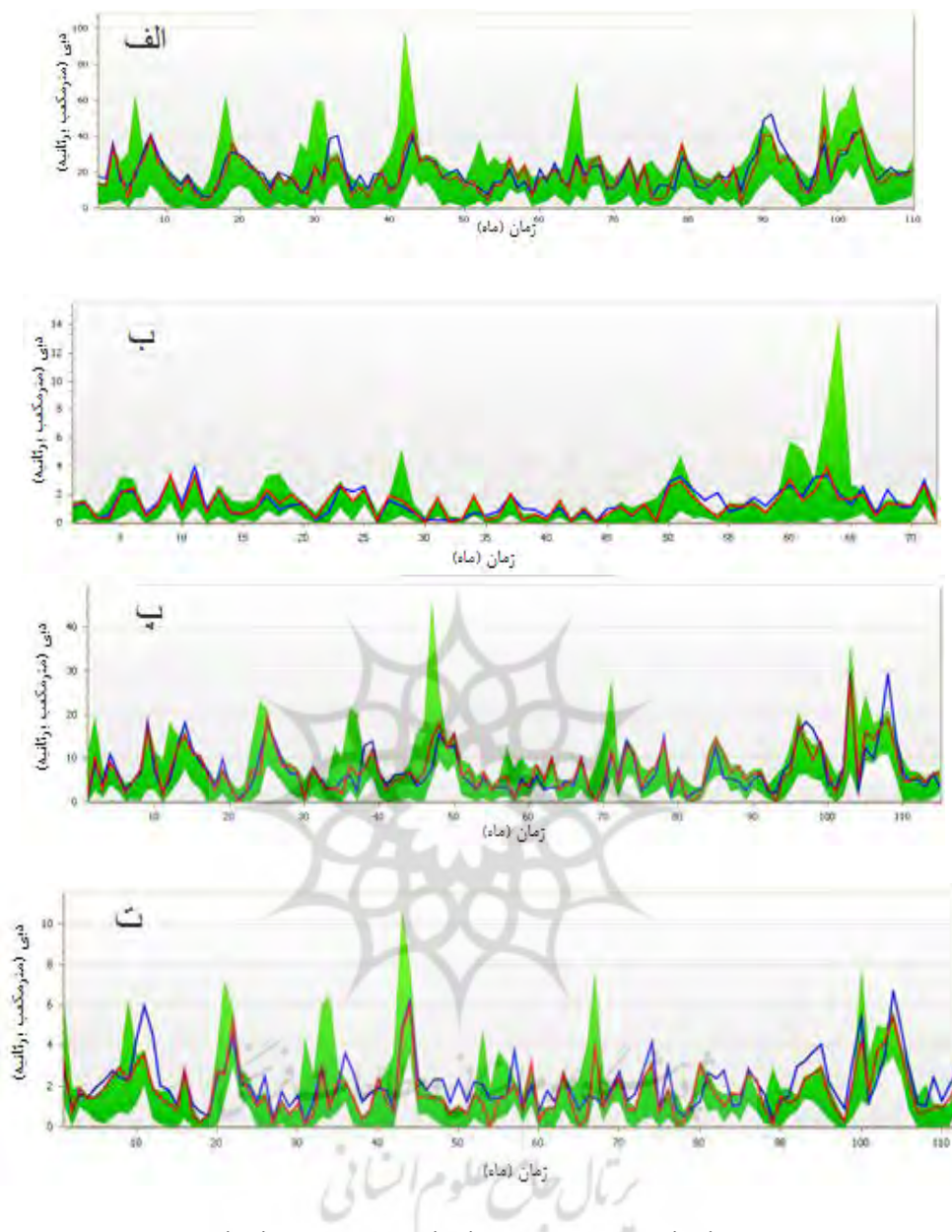
عامل	نام مؤلفه	توصیف مؤلفه	مقدار بهینه	کمینه	بیشینه
	v_CH_K2.rte	هدایت آب‌پویایی شناختی مؤثر بستر کانال اصلی (mm/hr)	۴۸/۴۲	۰/۰۱	۳۰۰
	v_ALPHA_BNK.rte	ثابت تخلیه کانال (day)	۰/۰۱۴	۰/۰۱	۱
	r_SOL_BD().sol	چگالی توده خاک (gr/cm^3)	۱/۵۵	۰/۲	۱
رواناب	r_CN2.mgt	شماره منحنی	۰/۴۲	۰/۴	۰/۸
	v_SURLAG	ضریب تأخیر رواناب سطحی (day)	۱/۶	۰/۲	۷
	v_ALPHA_BF	مؤلفه آلفا در جریان پایه (day)	۰/۳۶	۰	۱
	v_TIMP	شاخص تأخیر دمای فشرده‌سازی برف	۰/۶۸	۰	۱
	v_SMTMP	دمای پایه ذوب توده برف ($^{\circ}C$)	۳/۹۲	۰	۱۰
	r_SOL_AWC().sol	ظرفیت آب قابل دسترس خاک (mm/mm)	۰/۶۸	۰/۶۱	۰/۷۸
	r_SOL_K().sol	هدایت آب‌پویایی شناختی اشباع (mm/hr)	۰/۱۴	۰	۲۰۰
رسوب	v_SPCON.bsn	ضریب رابطه انتقال رسوب	۰/۰۰۰۹۶	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱
	v_SPEXP.bsn	نمای رابطه انتقال رسوب	۱/۲۸	۱/۲۴	۱/۵۶
	v_OV_N.hru	ضریب مانینگ برای جریان سطحی	۰/۷۷	۰/۵۶	۱/۰۴

در حوضه آبخیز اهرچای (عطفی، ۱۳۹۳)، مقادیر مؤلفه‌های OV-N بین ۱ تا ۶ و Sol-K بین ۰/۰۵ تا ۲/۲ برای شبیه‌سازی رسوب به دست آمد که به مقادیر بهینه مؤلفه‌های حوضه آبخیز هراز نزدیک است. هنگام استفاده از الگوریتم SUFI2، در اولین مرحله تابع هدف معرفی شد. پژوهش‌های مختلفی نشان می‌دهد که رابطه‌های متفاوتی برای تابع هدف وجود دارد و هر رابطه نتایج متفاوتی به دست می‌آورد و تابع منحصر به فردی وجود ندارد (عباس‌پور، ۲۰۰۹: ۵۰). در این پژوهش، از تابع هدف NS استفاده شد. شکل ۲ نتایج شبیه‌سازی دبی رواناب به صورت ماهانه در دوره واسنجی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۴ برای ایستگاه‌های کره‌سنگ، رزن و پنجاب و ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴ برای ایستگاه چلاو را نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی بار رسوب ایستگاه کره‌سنگ به صورت روزانه در دوره واسنجی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ در شکل ۳ نشان داده شده است. دوره‌های زمانی انتخاب شده برای شبیه‌سازی الگو از لحاظ اطلاعات هواشناسی موجود مناسب است و از روند دبی

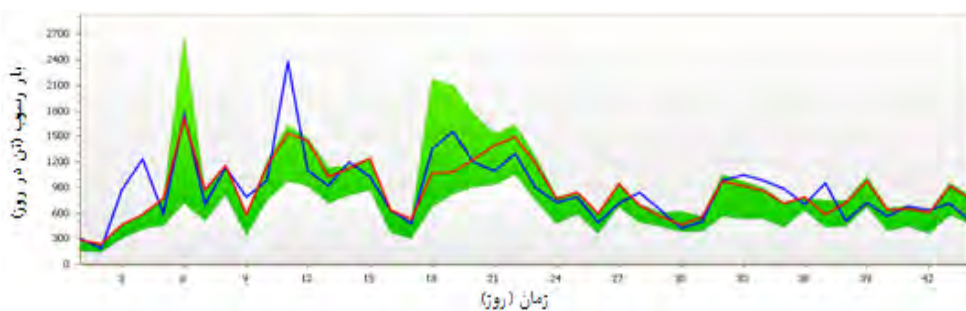
جریان و دبی رسوب معمولی برخوردار است. مقدار دبی و زمان وقوع واقعه‌های سیلابی در این دوره به‌خوبی به‌وسیله الگو، شبیه‌سازی شده است. الگوی SWAT با استفاده از ایستگاه‌های هیدرومتری در خروجی، دبی رسوب را محاسبه می‌کند؛ بنابراین برآورد ضعیف جریان شبیه‌سازی شده بر نتایج شبیه‌سازی ماژول رسوب تأثیر می‌گذارد. از این‌رو، برای شبیه‌سازی رسوب ابتدا برآورد قابل قبول رواناب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

جدول ۳. نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت مؤلفه‌ها

عامل	نام مؤلفه	t-stat	p-value
	v__SURLAG	۱/۶۲	۰/۱۰
	v__ALPHA_BF	۲/۴	۰/۰۱
	v__TIMP	۳/۰۵	۰/۰۰۲
رواناب	v__ALPHA_BNK.rte	۳/۷۳	۰/۰۰۰۲
	v__SMTMP	۳/۹۶	۰/۰۰۰۰۸
	r__SOL_BD().sol	۵/۱۸	۰
	v__CH_K2.rte	۵/۵۷	۰
	r__CN2.mgt	۶/۱۸	۰
	r__SOL_K().sol	۰/۱۰	۰/۹۲
	v__OV_N.hru	۰/۱۲	۰/۹۱
رسوب	r__SOL_AWC().sol	-۱/۴۳	۰/۱۵
	v__SPEXP.bsn	-۱۱/۶۱	۰
	v__SPCON.bsn	-۲۹/۷۳	۰

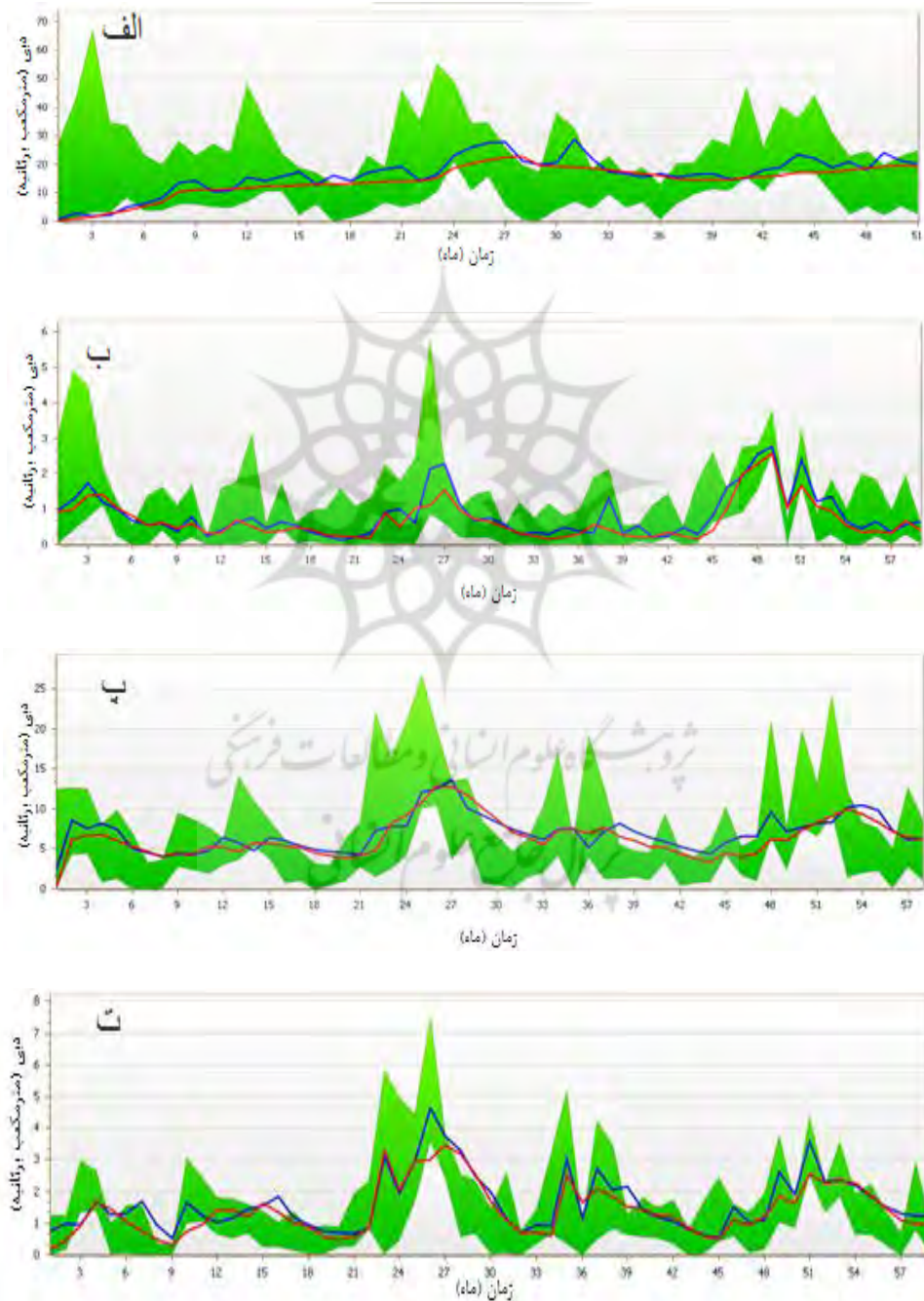


شکل ۲. محدوده باند عدم قطعیت (—)، دبی شبیه‌سازی شده (—) و دبی مشاهده‌ای (—) در دوره واسنجی رواناب ماهانه ایستگاه‌های: الف) کره‌سنگ؛ ب) رزن؛ پ) چالو؛ ت) پنجاب

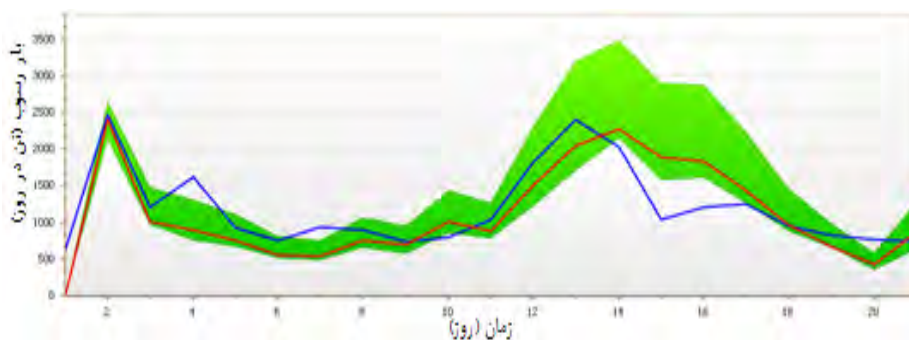


شکل ۳. محدوده باند عدم قطعیت (—)، دبی شبیه‌سازی شده (—) و دبی مشاهده‌ای (—) در دوره واسنجی رسوب روزانه در ایستگاه کره‌سنگ

بینامان و شومیکر (۲۰۰۵) و ساتی و همکاران (۲۰۰۱) پیشنهاد کردند که شبیه‌سازی الگو، زمانی رضایت‌بخش تشخیص داده می‌شود که شاخص آماری R^2 بیشتر از ۰/۶ و ناش - ساتکلیف بیشتر از ۰/۵ باشد؛ از این‌رو نتایج ما با این مقادیر مطابقت دارد و نشان می‌دهد که الگوریتم SUFI2 مشاهدات را در طی واسنجی به‌خوبی برای حوضه آبخیز هراز در بر گرفته است. در مرحله بعد، اعتبارسنجی نتایج الگو، به‌منظور افزایش سطح اعتماد کاربر در قابلیت پیش‌گویانه الگو صورت گرفت. بنابراین، شبیه‌سازی رواناب برای دوره پنج‌ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ و شبیه‌سازی بار رسوب برای دوره ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ اعتبارسنجی شد. نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴. محدوده باند عدم قطعیت (—)، دبی شبیه‌سازی شده (—) و دبی مشاهده‌ای (—) در دوره اعتبارسنجی رواناب ماهانه ایستگاه‌های: الف) کره‌سنگ؛ ب) رزن؛ پ) چلاو؛ ت) پنجاب



شکل ۵. محدوده باند عدم قطعیت (—)، دبی شبیه‌سازی شده (—) و دبی مشاهده‌ای (—) در دوره اعتبارسنجی بار رسوب ایستگاه کره‌سنگ

در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، الگو با مجموعه‌ای از مؤلفه‌های به‌دست‌آمده از آخرین مرحله واسنجی و اعتبارسنجی اجرا شد که نتایج نهایی آن در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

جدول ۴. خلاصه نتایج الگو در مرحله واسنجی

عامل	ایستگاه	طول دوره آماری	R^2	NS	MSE	r-factor	p-factor
	کره‌سنگ	۱۰۸ ماه	۰/۸۰	۰/۷۷	۲۰/۹۳	۲/۵۰	۰/۹۰
رواناب	چلاو	۸۴ ماه	۰/۷۵	۰/۷۳	۱/۲۳	۲/۰۳	۰/۷۸
	رزن	۱۰۸ ماه	۰/۷۹	۰/۷۵	۵/۹۱	۱/۷۱	۰/۷۸
	پنجاب	۱۰۸ ماه	۰/۶۸	۰/۵۵	۲/۷۰	۲/۴۳	۰/۸۹
رسوب	کره‌سنگ	۵۸ روز	۰/۶۱	۰/۶۱	$۶۰ * ۱۰^{-۳}$	۱/۰۷	۰/۸۴

جدول ۵. خلاصه نتایج الگو در مرحله اعتبارسنجی

عامل	ایستگاه	طول دوره آماری	R^2	NS	MSE	r-factor	p-factor
	کره‌سنگ	۶۰ ماه	۰/۸۷	۰/۷۵	۱۰/۱۷	۳/۶۱	۰/۸۷
رواناب	چلاو	۶۰ ماه	۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۲۱	۲/۲۴	۰/۸۸
	رزن	۶۰ ماه	۰/۸۱	۰/۷۲	۱/۳۴	۳/۵۶	۰/۷۲
	پنجاب	۶۰ ماه	۰/۷۵	۰/۷۰	۰/۶۷	۱/۷۸	۰/۷۲
رسوب	کره‌سنگ	۲۱ روز	۰/۶۸	۰/۵۳	$۱۳۶ * ۱۰^{-۳}$	۱/۲۱	۰/۷۱

نتیجه‌گیری

هدف اولیه این پژوهش بررسی عملکرد الگوی SWAT در شبیه‌سازی مقدار رواناب و بار رسوب حوضه آبخیز هراز در محل ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در داخل حوضه بود. در مرحله تجزیه و تحلیل حساسیت برای شبیه‌سازی رواناب از بین مؤلفه‌های مختلف، شماره منحنی (CN)، چگالی توده خاک (SOL-BD) و قابلیت هدایت آب‌پویایی‌شناسی مؤثر (CH-K2) از حساسیت زیادی برخوردار است. حساسیت زیاد مؤلفه CN در حوضه بررسی شده نشان‌دهنده تأثیر بسزای عوامل اداپیک و کاربری اراضی در رواناب این حوضه است که با نتایج پژوهش‌های سادات میرصانع و همکاران (۱۳۸۸)، پاناگوپولوس و همکاران (۲۰۱۱) و پاراچولی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. برای شبیه‌سازی بار رسوب مؤلفه‌های SPCON، SPEXP و SOL-AWC برای پیش‌بینی رسوب از حساسیت بیشتری برخوردار است که با نتایج پژوهش‌های ناصرآبادی و همکاران (۱۳۹۲)، جبرمیکائل و همکاران (۲۰۱۳) و ون‌گرینسون و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. با توجه به نمودارها، مقادیر دبی اوج رواناب و رسوب برآوردشده به مقدار مشاهده‌ای نزدیک است و زمان وقوع دبی‌های اوج به خوبی تخمین زده شده است که با نتایج پژوهش‌های جبرمیکائل و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. بیشتر برای ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس، مقدار دبی برآوردشده بیشتر از مقدار دبی مشاهده‌ای است که مربوط به در نظر نگرفتن نفوذ آب به‌وسیله الگوست که با نتایج پژوهش‌های سادات میرصانع و همکاران (۱۳۸۸) و بهرامی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. به‌طور کلی، نتایج شبیه‌سازی رواناب با نتایج پژوهش‌های پاناگوپولوس و همکاران (۲۰۱۱)، لو و همکاران (۲۰۱۱)، تانگ و همکاران (۲۰۱۲) و پاراچولی و همکاران (۲۰۱۳) و نتایج شبیه‌سازی بار رسوب با نتایج پژوهش‌های پوپسکو و همکاران (۲۰۱۳)، الانصاری و همکاران (۲۰۱۳) و سامرلوت و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. نتایج نشان داد که کارایی الگوی SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب بیشتر از شبیه‌سازی بار رسوب است که با نتایج تحقیقات ناصرآبادی و همکاران (۱۳۹۲)، چانتا و همکاران (۲۰۱۱) و جبرمیکائل و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

استفاده از این الگو یا الگوهای کامپیوتری دیگر به‌دلیل کاهش هزینه عملیات صحرائی و به‌منظور اندازه‌گیری مؤلفه‌های مورد نیاز و به‌ویژه به‌دلیل کاهش زمان لازم برای تحلیل مسائل، جزء راهکارهای ممکن به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست قلمداد می‌شود. علاوه بر این، با استفاده از این ابزار، این امکان برای پژوهشگران و مدیران اجرایی به‌وجود می‌آید تا برنامه‌های مختلف مدیریتی را که امکان اجرای آنها در مدتی کوتاه و بدون صرف هزینه سنگین وجود ندارد، ارزیابی کرده، با تحلیل نتایج، بهترین تصمیم را اتخاذ کنند.

منابع

- ابراهیمی، ح. (۱۳۹۰). «ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب و بار رسوب حوضه آبخیز رودخانه دویرج در استان ایلام». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. به‌راهنمایی نصرالله بصیرانی. زابل: دانشگاه زابل. گروه مرتع و آبخیزداری.
- اخوان، س.، عابدی، ج.، موسوی، ف. و عباسپور، ک. (۱۳۸۹). «تخمین "آب آبی" و "آب سبز" با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز همدان - بهار». علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. س ۱۴. ش ۵۳. ص ۹-۳.
- بهرامی، م. (۱۳۹۰). «ارزیابی عملکرد مدل SWAT در پیش‌بینی رواناب، حوضه آبخیز کیچیک استان مازندران». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. به‌راهنمایی عطاءالله کاویان. ساری: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. گروه آبخیزداری.
- سادات میرصانع، ز.، کاویانپور، م. و دلاور، م. (۱۳۸۸). «ارزیابی پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی بر رواناب حوضه‌های آبریز به‌وسیله مدل SWAT». هشتمین کنگره بین‌المللی. مهندسی عمران. شیراز: دانشگاه شیراز.

- سلمانی، ح. (۱۳۹۰). «بهبودسازی پارامترهای موثر در بارش- رواناب در مدل نیمه‌توزیعی SWAT (مطالعه موردی زیرحوضه قزاقلی حوضه گرگان‌رود استان گلستان)». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. به‌راهنمایی محسن محسنی ساروی. تهران: دانشگاه تهران. گروه آبخیزداری.
- عطفی، ع.ر. (۱۳۹۳). «شبیه‌سازی بیلان آب و رسوب حوضه آبخیز اهرچای با استفاده از مدل SWAT و ArcGIS». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. به‌راهنمایی مجید رئوف. اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی. گروه مرتع و آبخیزداری.
- گلشن، م.، کاویان، ع.، روحانی، ح. و اسمعیلی عوری، ا. (۱۳۹۳). «مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز چلاو با استفاده از مدل ArcSWAT». دهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری. مهندسی منابع طبیعی. بیرجند: دانشگاه بیرجند.
- ناصرآبادی، ف. (۱۳۹۰). «کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب و رسوب ماهانه در حوضه آبخیز قره‌سو اردبیل». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. به‌راهنمایی اباذر اسمعیلی عوری. اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی. گروه مرتع و آبخیزداری.
- نامدار، م. (۱۳۹۳). «پیش‌بینی رواناب سطحی بر پایه تغییرات اقلیمی حوضه آبخیز هراز». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. به‌راهنمایی عطاءالله کاویان. ساری: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. گروه آبخیزداری.
- Abbas-pour, K.C. (2009). User manual for SWAT-CUP2, SWIS Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland. pp. 95.
- Abrahimi, H. (2012). "Performance Evaluation of SWAT Model to Simulation of Runoff and Sediment Yield in Doiraj River Basin in Ilam Province". Master's Dissertation. Zabol: University of Zabol. Department of Range and Watershed. (In Persian).
- Akhavan, S., Abedi, J., Mousavi, F. and Abbaspour, K. (2010). "Estimate "blue water" and "green water" Whit using SWAT Model in Hamedan- Bahar Watershed". Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources. Vol. 14. No. 53. pp. 9-23. (In Persian).
- Al-Ansari, N., Ezz-Aldeen, M. and Knutsson, S. (2013). "Application of swat model to estimate the sediment load from the left bank of Mosul Dam". Advanced Science and Engineering Research. Vol. 3. pp. 47-61.
- Atfi, Gh. (2014). "Flow and sediment yield prediction using SWAT model and ArcGIS in Ahar- chai". Master's Dissertation. Ardabil: University of Mohaghegh Ardabili. Department of Watershed. (In Persian).
- Bahrami, M. (2012). "Performance evaluation SWAT model in runoff simulation, KICHIK Watershed in Mazandaran Province". Master's Dissertation. Sari: University of Sciences Agriculture and Natural Resource. Department of Watershed. (In Persian).
- Bathurst, J.C. (2002). "Physically-based erosion and sediment yield modelling: the SHETRAN concept. In: Wolfgang Summer and Desmond E. Walling (ed.), Modelling erosion, sediment transport and sediment yield". IHP-VI Technical Documents in Hydrology, No. 60. pp. 47-68.
- Binaman J. and Shoemaker, C.A. (2005). "an analysis of high-flow sediment event data for evaluating model performance". Hydrological Processes. Vol. 19. pp. 605-620.
- Chantha, O., Sabine, S. and Jose-Miguel, S. (2011). "Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model". Hydrology. Vol. 401. pp. 145-153.
- Du, J., Xie, S., Xu, Y., Xu, C. and Singh, V.P. (2007). "Development and testing of a simple physically-based distributed rainfall-runoff model for storm runoff simulation in humid forested basins". Hydrology. Vol. 336. No. 3-4. pp. 334-346.
- Duan, Z., Song, X. and Liu, J. (2009). "Application of SWAT for sediment yield estimation in a mountainous agricultural basin". graduate university of Chinese academy of sciences (GUCAS). Conservation Sedy.
- Gassman, P.W., Reyes, M., Green, C.H. and Arnold, J.G. (2007). the soil and water assessment tool: historical development, applications, and future directions". Transactions of the ASABE. Vol. 50. No. 4. pp. 1212-1250.
- Gebreicael, T.G., Mohamed, Y.A., Betrie, G.D., van der Zaag, P. and Teferi, E. (2013). "Trend analysis of runoff and sediment fluxes in the Upper Blue Nile basin: A combined analysis of statistical tests. physically- based models and land use maps". Hydrology. Vol. 482. pp. 57-68.
- Golshan, M., Kaviani, A., Rouhani, H. and Esmali- Ouri, A. (2015). "Hydrological Catchment Modeling Using SWAT Model". National Conference on Watershed Management Science and Engineering. Birjand: Agronomy. University of Birjand. (In Persian).

- Kliment, Z., Kadlec, J. and Langhammer, J. (2008). "Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi – empirical erosion models". *Catena*. Vol. 73. pp. 286-299.
- Lou, Y., Su, B., Yuan, J., Li, H. and Zhang, Q. (2011). "GIS Techniques for Watershed Delineation of SWAT Model in Plain Polders". *Precedia Environmental Science*. Vol. 10. pp. 2050-2057.
- Namdar, M. (2014). "Surface Runoff Prediction based on Climate Change in Haraz Watershed". Master's Dissertation. Sari: University of Sciences Agriculture and Natural Resource Sari. Department of Watershed. (In Persian).
- Naser-abadi, F. (1390). "Flow and sediment yield prediction using SWAT model in Garaso watershed, Ardabil Province". Master's Dissertation. Ardabil: University of Mohaghegh Ardabil. Department of Range and Watershed. (In Persian).
- Ndomba, P.M., Mtalo, F.W. and Killingtveit, A. (2008). "A Guided SWAT Model Application on Sediment Yield Modeling in Pangani River Basin: Lessons Learnt". *Urban Environmental Engineering*. Vol. 2. No. 2. pp. 53-62.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. and King, K.W. (2005). *Soil and Water Assessment Tool-Theoretical Documentation- version 2005*. Texas. Agricultural Research Service. P. 494.
- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., Baltas, E. and Mimikou, M. (2011). "SWAT parameterization for the identification of critical diffuse pollution source areas under data limitations". *Ecological modeling*. Vol. 222. pp. 3500-3512.
- Parajuli, P., Jayakody, P., Sassenrath, G., Ouyang, Y. and Pote, J. (2013). "Assessing the impacts of crop-rotation and tillage on crop yields and sediment yield using a modeling approach". *Agricultural Water Management*. Vol. 119. pp. 32-42.
- Pisinaras, V., Petalas, C., Gikas, G. D., Gemitzi, A. and Tshirintzis, V.A. (2010). "Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT)". *Desalination*. Vol. 250. No. 1. pp. 274-286.
- Popescu, L., Abdelhami, M., Ndomba, P., Beevers, L. and Betrie, G. (2013). "Comparison of sediment transport computations using hydrodynamic versus hydrologic models in the Simiyu River in Tanzania". *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. A/B/C. No. 61-62. pp. 12-21.
- Sadat-Mirsane, Z., Kavyan-poor, M. and Delavar, M. (2009). "Assess the impact of various parameters on runoff Hydrological catchment basins by SWAT Model". Eighth international Congress on Civil Engineering. pp. 1-8. (In Persian).
- Salmani, H. (2011). "Optimization of the parameters affecting the rain fall-run off in SWAT semi distributive model (case study of Ghazaghli subwatershed. (Gorganrood watershed)". Master's Dissertation. Tehran: University of Tehran. Department of Watershed. (In Persian).
- Santhi, C., Arnold, J.G., Williams, J.R., Dugas, W.A. and Hauck, L. (2001). "Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources". *The American Water Resources Association*. Vol. 37. No. 5. pp. 1169-1188.
- Shimelis, G.S., Dargahi, B., Srinivasan, R. and Melesse, A. (2010). "Modeling of Sediment Yield from Anjeni-Gauged Watershed, ETHIOPIA Using SWAT Model". *The American Water Resources Association*. Vol. 46. No. 3. pp. 514-526.
- SHirivastava, R.K., Tripathi, M.P. and Das, S.N., (2004). "Hydrological modeling of a small watershed using satellite data and GIS technique". *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* Vol. 32. No. 2. pp. 145-157.
- Silva, R.M., Santos, C.A.G. and Silva, L.P. (2007). "Evaluation of soil loss in Guaraira basin by GIS and remote sensing based model". *Urban Environmental Engineering*. Vol. 1. No. 2. pp. 44-52.
- Sommerlot, A., Nejad-hashemi, A., Woznicki, S., Giri, S. and Prohaska, M. (2013). "Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment yield at field-scale". *Environmental Management*. Vol. 127. pp. 227-236.
- Tang, F.F., Xu, H.S. and Xu, Z.X. (2012). "Model calibration and uncertainty analysis for runoff in the Chao River Basin using sequential uncertainty fitting". *Procardia Environmental Science*. Vol. 13. pp. 1760-1770.
- van-Griensven, A., Popescu, I., Abdelhamid, M.R., Ndomba, P. and Beevers, L. (2013). "Comparison of sediment transport computations using hydrodynamic versus hydrologic models in the Simiyu River in Tanzania". *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 61-62. pp. 12-21.