نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۰، شماره ۳، ۱۳۹۷، صفحات ۴۶۴-۴۷۷

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 10, Issue 3, 2018, Pages 464-477
DOI: 10.22092/ijwmse.2017.109516.1273

شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT و بررسی و ارزیابی مدل در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی، مطالعه موردی: حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه در کشور ایران

سید وحید شاهویی*[۱]، جهانگیر پرهمت[۲]، حسین صدقی[۳]، مجید حسینی[۴] و علی صارمی[۵]

[۱] کاندیدای دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، [۲ و ۴] دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، [۳] استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران و [۵] استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۱

چکیده

مدل ارزیابی خاک و آب (SWAT) یک مدل پیوسته و نیمه‌توزیعی می‌باشد که می‌تواند فرایندهای هیدرولوژیکی را در حوزه‌های آبخیز در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه و با استفاده از طیف وسیعی از اطلاعات همانند اطلاعات فیزیکی حوضه‌ها (خاک، کاربری اراضی و شیب) و همچنین، اطلاعات هواشناسی همانند بارندگی، درجه حرارت، باد، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی و قابلیت اتصال به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شبیه‌سازی کند. در این پژوهش با استفاده مدل هیدرولوژیکی SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه در کشور ایران با مساحت ۱۲۶۰ کیلومتر مربع شده است. شبیه‌سازی رواناب در یک دوره آماری نه‌ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۲) انجام شد که هفت سال ابتدایی این دوره (۲۰۰۸-۲۰۰۲) به‌منظور واسنجی مدل با استفاده از ۱۴ پارامتر مختلف و دو سال انتهایی آن (۲۰۱۰-۲۰۰۹) جهت اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. عملکرد مدل در شبیه‌سازی رواناب در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از دو شاخص آماری ضریب ناش ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین (R^2) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای رواناب ماهانه و همچنین، شاخص‌های آماری محاسبه شده، مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی در دوره زمانی ماهیانه دارای نتایج قابل قبولی در شبیه‌سازی رواناب می‌باشد، به‌طوری که مقادیر ضرایب NSE و R^2 در دوره واسنجی به‌ترتیب معادل ۰/۷ و ۰/۸ و برای دوره صحت‌سنجی ۰/۸۱ و ۰/۹ محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: آب سطحی، برآورد، دبی، ضریب تعیین، ضریب ناش ساتکلیف، هیدروگراف

مقدمه

در دنیا تلاش‌های زیادی در راستای مدیریت بهینه منابع آب و بهره‌برداری حداکثر و کارآمد از آن‌ها صورت گرفته است که محورهای اصلی آن شامل افزایش سطح آگاهی و مشارکت فعال کاربران در سیاست‌گذاری‌های آب، به‌کارگیری فناوری‌های نوین و کارآمد در شبیه‌سازی مولفه‌های منابع آب و استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی، کاربرد روش‌های کاهش

* مسئول مکاتبات: vahid.shahoei@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

دهنده تنش کم آبی و خشکی منابع آب در بخش تقاضا می‌باشد. از طرفی، آگاهی دقیق از مؤلفه‌های بیلان آبی برای مدیریت پایدار منابع آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک ضروری می‌باشد (Porhemmat و همکاران، ۲۰۱۸). تعیین هر کدام از مولفه‌های منابع آب و بیلان آبی از جمله کارهای پژوهشی می‌باشد که در سال‌های اخیر، به‌وسیله روش‌های متعددی همچون مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. روش‌های متعددی برای تخمین مقادیر پارامترهای فیزیکی موثر در معادله بیلان آبی مثل بارندگی، رواناب، درجه حرارت، باد و غیره وجود دارد که یکی از این روش‌ها مدل‌سازی یا شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است. مدل نماینده ساده‌ای از کل سیستم حوضه و به‌عبارتی نمایان‌گر بخشی از واقعیت‌های موجود در یک سیستم است. مدل‌های هیدرولوژی قادر به شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی سطح زمین به‌منظور بهبود مدیریت منابع آب می‌باشند (Dovonec، ۲۰۰۰). مدل‌های بارش-رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و همچنین، ابزاری مناسب برای مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آب می‌باشند. دو کاربرد مهم مدل‌های بارش-رواناب عبارت است از پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز (Emerson و همکاران، ۲۰۰۳). مدل SWAT یک مدل جامع در زمینه مطالعات آب و خاک است که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کلان برای اراضی وسیعی مورد استفاده قرار گیرد. توانایی این مدل در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی پیچیده حوزه‌های آبخیز در محیط GIS این مدل را نسبت به مدل‌های یکپارچه که در آن‌ها واحدهای کاری بزرگ‌تر مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است (Akbari، ۲۰۱۱). این مدل در مقیاس‌های زمانی روزانه و ساعتی قابل اجرا بوده و از قابلیت شبیه‌سازی تمام مؤلفه‌های بیلان آب برخوردار می‌باشد (Arnold و همکاران، ۱۹۹۸). در دنیا مطالعات بسیاری با استفاده از مدل SWAT صورت گرفته است. Li و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق خود در حوضه‌ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته‌زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری باعث تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوزه آبخیز می‌شود و نتیجه این تغییر به‌صورت افزایش در حجم رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و آب پایه رودخانه‌ها می‌باشد. Abbaspour و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی تمام پروسه‌های مؤثر بر کمیت آب، رسوب و بارهای مواد مغذی در حوضه تور با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع واقع در شمال شرق کشور سوئیس نمودند. Mishra و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب و رسوب در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه در یک حوضه کوچک در کشور هند نمودند. مقادیر ضریب R^2 و ضریب ناش ساتکلیف برای رواناب روزانه در دوره واسنجی مدل به‌ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۷۰ تعیین شد و برای رواناب ماهانه در دوره اعتبارسنجی مدل، مقادیر این دو ضریب ۰/۹۹ تعیین شد. در دوره اعتبارسنجی مقادیر ضریب R^2 و ضریب ناش ساتکلیف برای رواناب روزانه به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۶۰ و برای رواناب ماهانه ۰/۹۲ و ۰/۸۸ تعیین شد. آن‌ها از این مطالعه نتیجه گرفتند که مدل در دوره اعتبارسنجی مقادیر شبیه‌سازی شده را بیشتر از مقادیر مشاهداتی برآورد می‌کند و در روندیابی حجم رواناب سطحی به‌خصوص در مقیاس روزانه دارای دقت کمتری نسبت به دوره واسنجی می‌باشد. Rostamian و همکاران (۲۰۰۸) از مدل SWAT برای تخمین رواناب و رسوب در حوضه بهشت‌آباد در کارون شمالی استفاده نمودند. نتایج مدل برای متوسط رواناب ماهیانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بسیار رضایت‌بخش بود به‌طوری که مشخص شد مدل در شبیه‌سازی رواناب خیلی بهتر از رسوب عمل کرده است. Schuol و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور تخمین مؤلفه‌های منابع آب در سطح زیرحوضه‌ای در آفریقا و در مقیاس زمانی ماهیانه از مدل SWAT استفاده کردند که به‌طور کلی نتایج مدل خوب و در تعدادی از شبیه‌سازی‌ها عدم قطعیت زیاد بود. Xiaobo (۲۰۰۸) طی مطالعه‌ای با استفاده از مدل SWAT در یک حوضه واقع در ایالت ایندیانای آمریکا به این نتیجه رسید که نوع پوشش زمین و تغییرات

Archive of SID

www.SID.ir

آن تأثیر مستقیمی بر میزان رواناب و رسوب خروجی از حوضه دارد. Jeong و همکاران (۲۰۱۰) برای گسترش و آزمایش یک مدل بارش رواناب زیر ساعتی از مدل SWAT استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که نسخه زیر ساعتی مدل SWAT یک ابزار مناسب برای مطالعات ارزیابی آلودگی منبع غیرنقطه‌ای می‌باشد. Hosseini (۲۰۱۱) در طی یک پژوهش مدل SWAT را از بین ۱۵ مدل هیدروکلیماتولوژیکی به‌عنوان مدل مناسب برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه انتخاب کرد. Oeurng و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل SWAT در یک حوضه وسیع با مساحت ۱۱۱۰ کیلومتر مربع واقع در جنوب غربی فرانسه به شبیه‌سازی رواناب و رسوب در این حوضه پرداختند که نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد مدل SWAT توانایی شبیه‌سازی مناسب رواناب و رسوب را در حوضه‌های بزرگ داراست. Sommerlot و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از یک مطالعه مقایسه‌ای دقت سه مدل هیدرولوژیکی SWAT، HIT[1] و RUSLE2[2] را در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه‌ای با شاخص‌های آماری P-factor و R-factor با هم مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل SWAT با P-factor برابر ۰/۵۱ و R-factor برابر ۰/۳۱ از بیشترین دقت در بین سه مدل برخوردار است. Erfanian و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی رسوب و رواناب ماهانه در حوزه آبخیز نازلوچای در غرب دریاچه ارومیه نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که این مدل دارای عملکرد مناسب و مطلوبی در شبیه‌سازی رواناب و رسوب در این حوضه، در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. Murty و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل SWAT به شبیه‌سازی بیلان آبی حوضه کن[3] در کشور هند پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌گر مناسب بودن مدل SWAT در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در این حوضه می‌باشد. Hosseini (۲۰۱۴) شبیه‌سازی بیلان آبی حوزه آبخیز قره‌سو استان کرمانشاه را با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک SWAT بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از این حوضه، به‌صورت ماهیانه انجام داد. نتایج حاصل از پژوهش وی کارایی مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آبی و بررسی اثرات اقدامات مختلف مدیریتی و یا تغییرات اقلیمی بر دبی جریان در حوزه آبخیز قره‌سو را نشان داد. Hosseini و Ashraf (۲۰۱۵) در تحقیقی در منطقه طالقان ایران نشان دادند که مدل SWAT برای دوره‌های سالانه و ماهانه کارایی مناسبی در شبیه‌سازی رواناب دارد، اما برای دوره‌های روزانه از مطلوبیت خوبی برخوردار نیست. Lin و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل SWAT به بررسی تاثیرات کاربری اراضی بر روی رواناب خروجی حوضه جین جیانگ[4] در کشور چین در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تغییرات کاربری اراضی بر رواناب خروجی حوضه مورد بررسی خود را به‌صورت افزایش رواناب خروجی از حوضه نشان می‌دهد و این افزایش در مقیاس زمانی روزانه بیشتر از مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه می‌باشد و کمترین افزایش دبی مربوط به رواناب در مقیاس سالانه است. Zuo و همکاران (۲۰۱۶) تاثیرات تغییرات اقلیم و کاربری اراضی را بر روی رواناب و رسوب حوزه آبخیز رودخانه ونگفوچوان[5] در کشور چین را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از کاهش رواناب و رسوب سالانه در این حوضه در نتیجه تغییرات بارندگی و درجه حرارت و تغییرات کاربری اراضی می‌باشد و این کاهش رواناب و رسوب در منطقه بالادست رودخانه به‌مراتب بیشتر از پایین‌دست می‌باشد. Hosseini و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT اقدام به شبیه‌سازی بیلان هیدرولوژیکی شش حوزه آبخیز خلیج فارس نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مدل SWAT دارای نتایج رضایت‌بخشی در شبیه‌سازی اجزای بیلان آب در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه می‌باشد.

هدف از انجام این پژوهش شبیه‌سازی رواناب در حوضه روانسر سنجابی به‌وسیله مدل SWAT در

[1] High Impact Targeting
[2] Revised Universal Soil Loss Equation
[3] Ken
[4] Jinjiang
[5] Huangfuchuan

Archive of SID

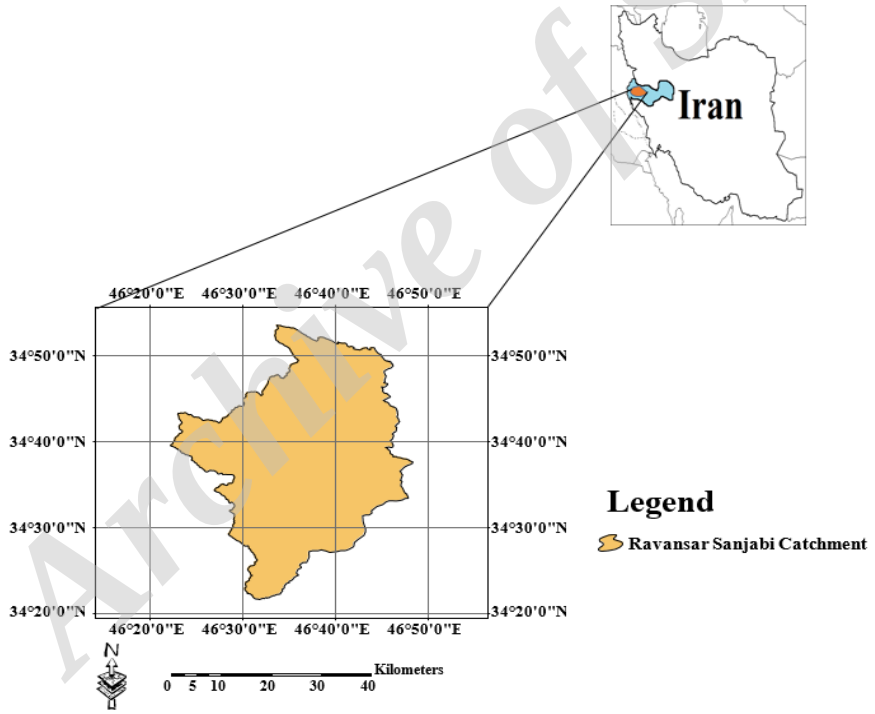
www.SID.ir

مقیاس زمانی ماهانه و بررسی و ارزیابی نتایج مدل با استفاده از شاخص‌های آماری منتخب در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی تعیین شده در مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه روانسر-سنجابی با مختصات جغرافیایی ″۳۰ ′۲۱ °۴۶ تا ″۳۰ ′۴۹ °۴۶ طول شرقی و ″۰ ′۲۰ °۳۴ تا ″۰ ′۶۰ °۳۴ عرض شمالی واقع در استان کرمانشاه به مساحت ۱۲۶۰ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز کرخه می‌باشد. رودخانه اصلی آن قره‌سو می‌باشد که سرچشمه اصلی این رودخانه سراب روانسر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه می‌باشد. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز روانسر-سنجابی در شکل ۱ نشان داده شده است.

آمار و اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در پژوهش: در این مطالعه به‌منظور شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل SWAT در مقیاس زمانی ماهانه از یک دوره آماری نه‌ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۲) استفاده شد. این آمار شامل داده‌های رواناب ماهیانه ایستگاه هیدرومتری دوآب مرک و رودخانه قره‌سو و همچنین داده‌های بارندگی، درجه حرارت و سایر اطلاعات هواشناسی روزانه ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک انتخابی در حوضه مورد بررسی، می‌باشد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز روانسر سنجابی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده در تحقیق

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	مختصات جغرافیایی		
		طول	عرض	ارتفاع (متر)
دوآب مرک	هیدرومتری	۴۶-۴۶-۵۹	۳۴-۳۳-۰۰	۱۳۳۹
روانسر	سینوپتیک	۴۶-۴۰-۰	۳۴-۴۳-۰	۱۳۶۳
بن چله	باران‌سنج معمولی	۴۶-۳۵-۱۳	۳۴-۴۷-۵۸	۱۷۰۰
کوزران	باران‌سنج هواشناسی	۴۶-۳۶-۰	۳۴-۳۰-۰	۱۴۰۱
نهرآبی	باران‌سنج هواشناسی	۴۶-۳۴-۰	۳۴-۴۰-۰	۱۴۹۰

Archive of SID
www.SID.ir

شبکه رودخانه‌ای حوضه روانسر سنجابی و همچنین، موقعیت ایستگاه‌های استفاده شده در تحقیق و ذکر شده در جدول ۱ در شکل ۲ نشان داده شده است.

مدل SWAT: مدل SWAT یک مدل فرایند محور و نیمه‌توزیعی است و به‌جای آن‌که از معادلات رگرسیونی جهت توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده نماید، اطلاعات راجع به هوا، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پوشش اراضی در حوزه آبخیز را دریافت می‌کند (Goodarzi و همکاران، ۲۰۱۳). مدل SWAT جهت شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه از معادله بیلان آبی مطابق با رابطه (۱) استفاده می‌نماید.

$$\Delta SW = \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

که در آن، ΔSW تغییرات آب ذخیره شده در خاک، R_{day} بارندگی، Q_{surf} میزان رواناب سطحی، E_a تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep} میزان آب نفوذ یافته به منطقه غیراشباع خاک و Q_{gw} میزان جریان آب زیرزمینی که به رودخانه می‌پیوندد، همگی بر حسب میلی‌متر و در مقیاس زمانی روزانه می‌باشند. این مدل برای محاسبه رواناب سطحی از روش اصلاح شده SCS و یا روش گرین-امپت استفاده می‌کند. در روش SCS جهت محاسبه ارتفاع رواناب، شماره منحنی و مقدار نفوذ آب در خاک و همچنین، رطوبت اولیه خاک سه عامل اصلی می‌باشند که در محاسبات به‌وسیله مدل در نظر گرفته می‌شوند. رابطه محاسبه ارتفاع رواناب حوضه در روش SCS به‌صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$Q_{Surface} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + s)} \quad (۲)$$

که در آن، $Q_{Surface}$ ارتفاع رواناب، R_{day} ارتفاع بارندگی، I_a مقادیر تلفات اولیه بارش مانند برگاب و نفوذ، s ضریب نگه‌داشت آب در خاک همگی بر حسب میلی‌متر می‌باشند. طبق این روش شکل‌گیری رواناب زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار بارندگی از میزان تلفات اولیه بیشتر باشد. ضریب نگهداشت آب در خاک به‌وسیله رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$S = 25.4(\frac{1000}{CN} - 10) \quad (۳)$$

که در آن، CN شماره منحنی نفوذ آب در خاک می‌باشد. مقدار تلفات اولیه (I_a) معمولا ۰/۲ ضریب نگهداشت آب در خاک (S) در نظر گرفته می‌شود (Misra و Rose، ۱۹۹۵). کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحد واکنش هیدرولوژیک (HRU[1]) است که ویژگی‌های هیدرولوژیکی آن از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و خاک حوضه حاصل می‌شود. آب موجود در خاک، رواناب سطحی، رسوب و عناصر شیمیای ابتدا برای هر HRU و سپس برای هر زیرحوضه و در نهایت برای کل حوزه آبخیز محاسبه می‌شود (Hosseini، ۲۰۱۴). در این مطالعه طبقه‌بندی شیب با توجه به نقشه شیب حوضه مورد بررسی (شکل ۳) در پنج طبقه ۱۰/۶۶-۰، ۲۱/۳۳-۱۰/۶۶، ۳۱/۹۹-۲۱/۳۳، ۴۲/۶۶-۳۱/۹۹ و ۵۳/۳۳-۴۲/۶۶ درجه صورت پذیرفت.

در این مطالعه نقشه توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی حوضه روانسر سنجابی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهیه شد و به کمک آن‌ها نقشه‌های رقوم ارتفاعی، رستر شده خاک و رستر شده کاربری اراضی حوضه روانسر سنجابی با اندازه سلولی ۸۵×۸۵ متر استخراج شد که در شکل ۴ نشان داده شده است.

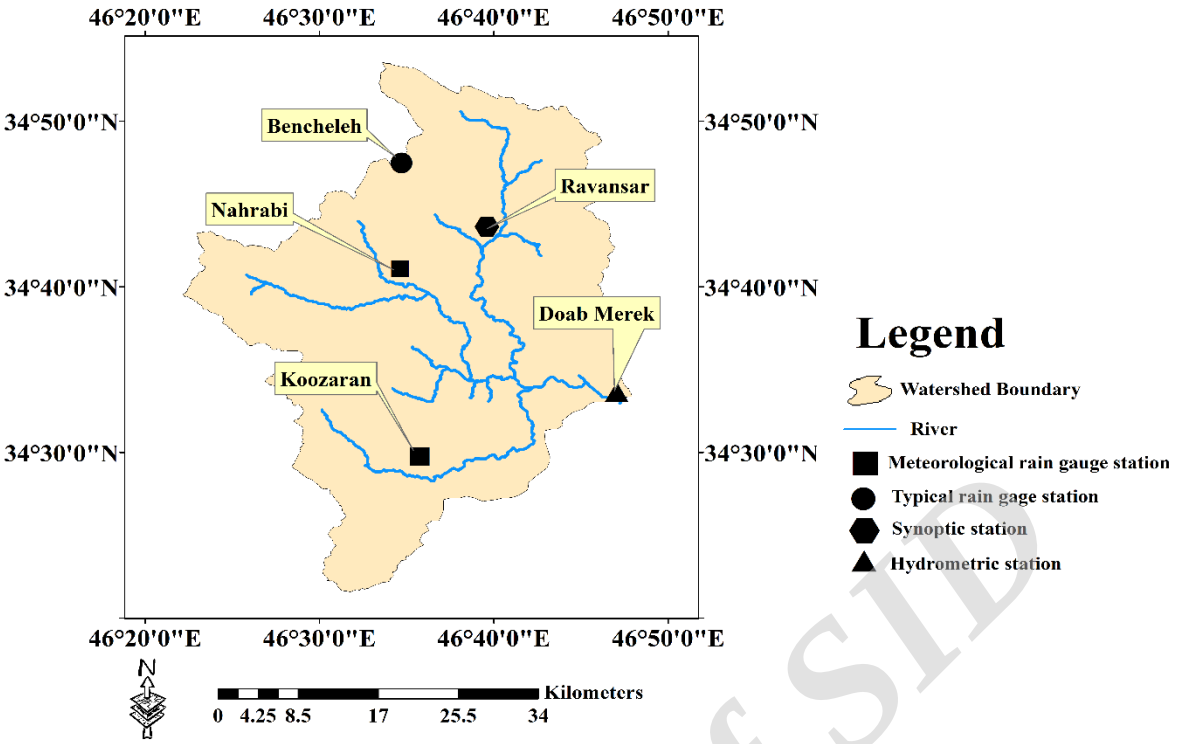
با توجه به شکل ۴، در حوضه روانسر سنجابی ۱۲ نوع خاک و همچنین، ۱۷ نوع کاربری اراضی وجود دارد که اطلاعات مربوط به هر کدام از آن‌ها در جداول ۲ و ۳ آورده شده است.

با توجه به جداول ۲ و ۳ اطلاعات مربوط به هر کدام از خاک‌ها و کاربری اراضی موجود در حوضه روانسر سنجابی در پایگاه داده[2] مدل SWAT به‌صورت دستی وارد شد. با ترکیب سه نقشه رقوم ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی با هم و طبقه‌بندی شیب در پنج طبقه، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک[3] در حوضه مورد بررسی تعیین شد که در شکل ۵ نشان داده شده است.

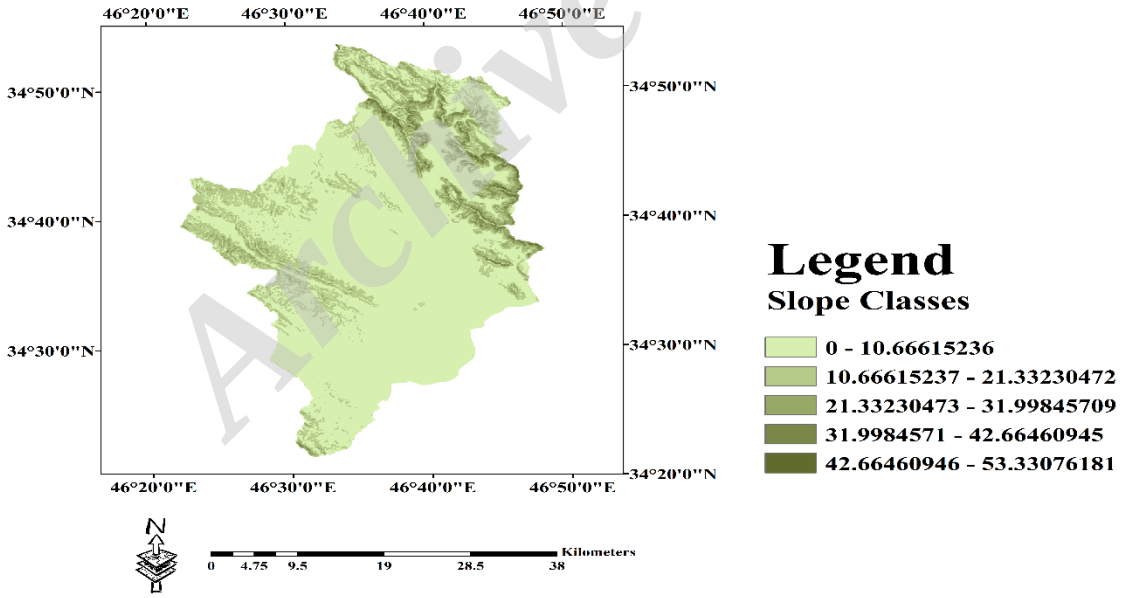
[1] Hydrologic Response Unit
[2] Data Base
[3] HRU

Archive of SID

www.SID.ir

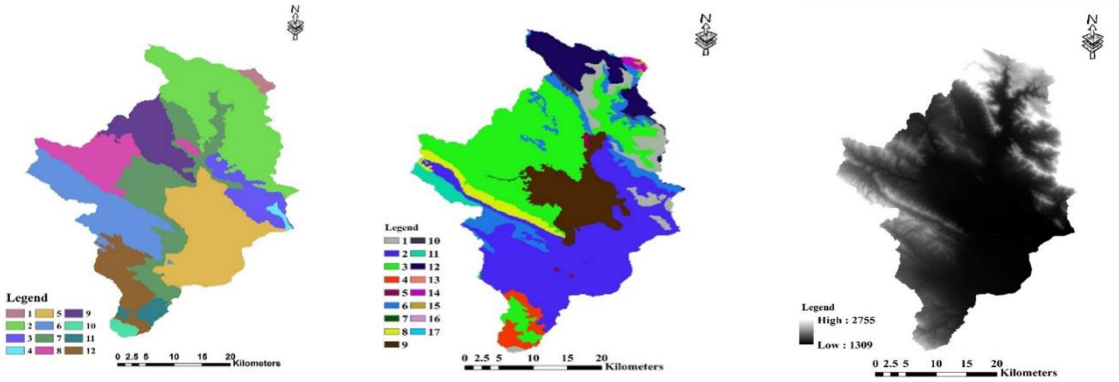


شکل ۲- شبکه رودخانه‌ای و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی انتخابی در مطالعه در حوضه روانسر سنجابی



شکل ۳- نقشه شیب حوزه آبخیز روانسر سنجابی

Archive of SID
www.SID.ir



الف) نقشه رقوم ارتفاعی ب) نقشه رستر شده کاربری اراضی ج) نقشه رستر شده خاک

شکل ۴- نقشه‌های رقوم ارتفاعی، کاربری اراضی و خاک حوزه آبخیز روانسر سنجابی

جدول ۲- مشخصات خاک‌های موجود در حوضه روانسر سنجابی

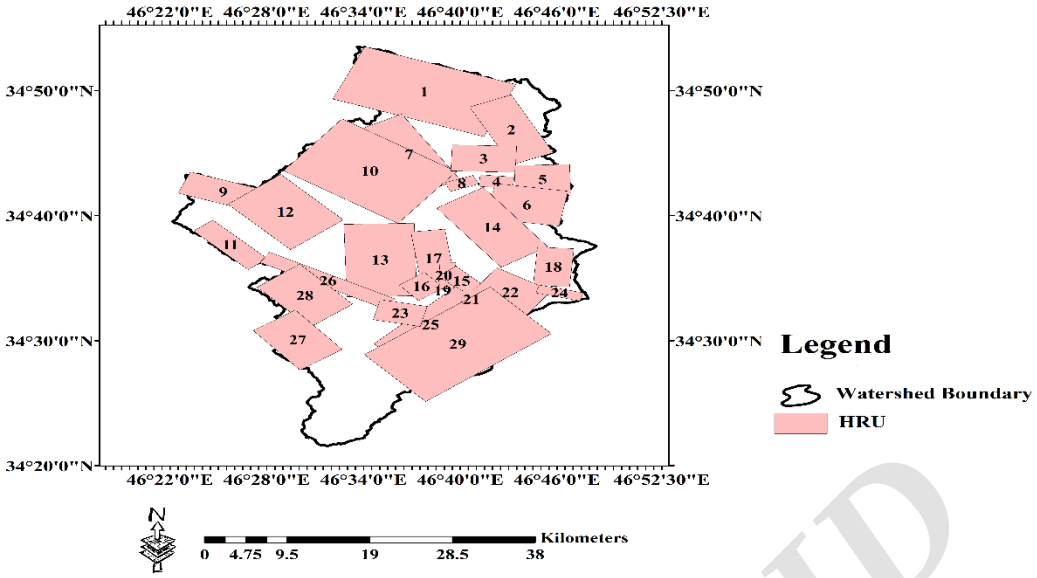
شماره خاک	بافت خاک	گروه هیدرولوژیکی	تعداد لایه‌های خاک	عمق نفوذ ریشه (سانتی‌متر)
۱	C-Cl-SCL	C	۳	۱۵۰
۲	C	D	۱	۳۰
۳	SCL-C-C	A	۳	۱۸۰
۴	C	D	۱	۳۵
۵	SC-C-C	D	۳	۱۵۰
۶	CL	D	۱	۳۰
۷	CL-SCL-C	B	۳	۱۱۰
۸	C	B	۱	۳۵
۹	C-CL-C	C	۳	۱۲۰
۱۰	C-C	A	۲	۱۵۰
۱۱	C-SCL-CL	D	۱	۱۵۰
۱۲	CL-SCL	B	۲	۱۵۰

جدول ۳- کاربری اراضی و نوع پوشش سطح زمین در حوضه روانسر سنجابی

شماره کاربری	نوع کاربری	شماره کاربری	نوع کاربری	شماره کاربری	نوع کاربری
۱	مرتع متوسط	۷	آب	۱۳	مخلوط جنگل متوسط و مرتع خوب
۲	مخلوط زراعت دیمی و آبی	۸	مخلوط زراعت آبی و دیمی و مرتع متوسط	۱۴	مخلوط زراعت آبی و باغ
۳	مخلوط زراعت آبی و مرتع متوسط	۹	زراعت آبی	۱۵	جنگل ضعیف
۴	مخلوط زراعت دیم و مرتع ضعیف	۱۰	سنگ و سخره	۱۶	جنگل متراکم
۵	شهری	۱۱	جنگل ضعیف	۱۷	جنگل متوسط
۶	مرتع ضعیف	۱۲	مرتع خوب		

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU) تعیین شده به‌وسیله مدل SWAT در حوضه روانسر سنجابی

با توجه به شکل ۵، ۲۹ واحد پاسخ هیدرولوژیک برای حوضه مورد بررسی به‌وسیله مدل SWAT تعیین شد. پس از تهیه نقشه واحدهای پاسخ هیدرولوژیک، داده‌های هواشناسی به مدل معرفی شدند. داده‌های هواشناسی که به‌منظور شبیه‌سازی رواناب به‌وسیله مدل SWAT وارد مدل شدند، عبارت است از مشخصات و پارامترهای آماری بلندمدت مورد نیاز جهت ساخت فایل WGN[1] با استفاده از ایستگاه مرجع هواشناسی روانسر که شامل ۱۴ پارامتر و همگی در مقیاس زمانی ماهیانه می‌باشند و همچنین داده‌های بارندگی، دماهای بیشینه و کمینه، سرعت باد، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش همگی در مقیاس زمانی روزانه طی سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۰.

تعیین زیرحوضه‌ها و نقطه تمرکز حوزه آبخیز روانسر سنجابی: پس از آماده نمودن داده‌های ورودی و همچنین، نقشه‌های مورد نیاز مدل SWAT، ۲۹ زیرحوضه برای حوزه آبخیز روانسر سنجابی به‌وسیله مدل تعیین شد که نحوه این تقسیم‌بندی در شکل ۶ نشان داده شده است. در هر زیرحوضه اطلاعات مختلفی از جمله مساحت، بیشینه و کمینه ارتفاع وجود دارد. با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی ایستگاه دوآب مرک، زیرحوضه شماره ۲۴ به‌عنوان خروجی حوضه در نظر گرفته شد که آمار رودخانه قره‌سو در این ایستگاه نشانگر میزان رواناب خروجی از کل حوضه روانسر سنجابی می‌باشد.

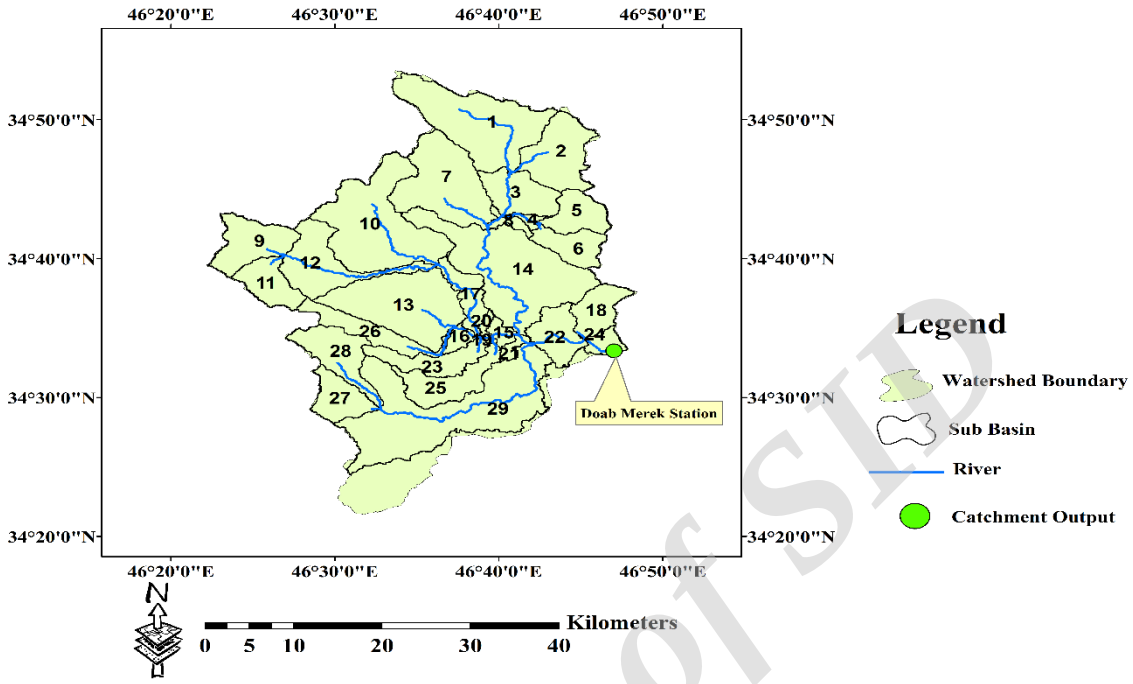
پس از وارد کردن اطلاعات مربوطه و ساختن جداول داده‌های ورودی به مدل، اجرای آن در مقیاس زمانی ماهانه صورت گرفت و از آمار ایستگاه هیدرومتری دوآب مرک واقع در زیرحوضه شماره ۲۴ جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب دوره‌های زمانی انتخابی استفاده شد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT: در این پژوهش به‌منظور واسنجی مدل SWAT از برنامه SUFI2 در نرم‌افزار SWATCUP استفاده شد (Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۴). دوره واسنجی داده‌های رواناب ماهیانه، سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ انتخاب شد. برای واسنجی مدل از ۱۴ پارامتر مختلف استفاده شد که اسامی آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است. برای اعتبارسنجی مدل نیز سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در نظر گرفته شد تا مشخص شود با توجه به پارامترهای بهینه به‌دست آمده در مرحله واسنجی، مدل در دوره اعتبارسنجی هم دارای نتایج قابل قبولی هست و یا خیر؟ در نظر گرفتن این نکته حائز اهمیت

[1] Weather generator input file

Archive of SID
www.SID.ir

است که عبارت اعتبارسنجی یک مدل به یک منطقه خاص (در این مطالعه حوضه روانسر سنجابی) اشاره دارد و نباید این تصور غلط به‌وجود آید که مدل برای تمامی نقاط اعتبارسنجی شده است (Refsgaard، ۱۹۹۶).



شکل ۶- زیرحوضه‌ها و شبکه رودخانه حوضه روانسر سنجابی تعیین شده به‌وسیله مدل SWAT

جدول ۴- پارامترهای مورد استفاده در مرحله واسنجی مدل SWAT در منطقه مورد مطالعه

شماره	نام پارامتر	دامنه تغییرات	مقدار بهینه	شماره	نام پارامتر	دامنه تغییرات	مقدار بهینه
۱	SMTMP	۰/۱۷-۰/۱۹	۰/۱۸	۸	CN2	۶۰/۷۹–۶۲/۰۱	۶۱/۴۶
۲	SMFMN	۷/۶۸۳–۷/۸۰۰	۷/۶۸۶	۹	CH_K2	۱۴/۸۹–۱۵/۱۵	۱۵/۰۵
۳	ESCO	۰/۸۹–۰/۹	۰/۹۰	۱۰	REVAPMN	۱۸۴/۲۲–۱۹۳/۹۱	۱۹۰/۶۵
۴	EPCO	۰/۱۷۱–۰/۱۷۹	۰/۱۷۲	۱۱	CH_N2	۰/۲۳۶۱–۰/۲۳۷	۰/۲۳۷۱۳۸
۵	ALPHA_BF	۰/۰۲۹۴–۰/۰۲۹۸	۰/۰۲۹۵	۱۲	SURLAG	۱۷/۱۰–۱۷/۳۲	۱۷/۱۲
۶	GW_REVAP	۰/۱۰۱–۰/۱۰۳	۰/۱۰۲	۱۳	SOL_BD(1)	۰/۳۵۸۳۸–۰/۳۵۹۲۵	۰/۳۵۸۳۹۹
۷	SOL_AWC(1)	۱/۵۷–۱/۵۹	۱/۵۸	۱۴	GW_DELAY	۴۶/۹۵–۴۸/۱۸	۴۷/۹۴۲

معیارهای آماری در ارزیابی

ضریب ناش ساتکلیف[1] **(NSE)**: ضریب NSE ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد (Romanowici و همکاران، ۲۰۰۵). در این مطالعه جهت ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی در دوره آماری انتخابی از این ضریب استفاده شده است که در رابطه (۴) نشان داده شده است.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_{m,i} - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \overline{Q_m})^2} \qquad (۴)$$

که در آن، $\overline{Q_m}$ میانگین دبی مشاهداتی، Q_s نشان‌دهنده دبی محاسباتی و $Q_{m,i}$ مقادیر مشاهده

[1] Nash Sutcliffe

Archive of SID

www.SID.ir

شـده دبی در طول دوره شبیه‌سـازی و هر سه بر حسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشند. محدوده عملکرد شاخص ارزیابی NSE در شبیه‌سازی صورت گرفته به‌وسیله مدل در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- محدوده عملکرد و ارزیابی شاخص ناش ساتکلیف (Kult و همکاران، ۲۰۱۴).

نتیجه ارزیابی	ضریب ناش ساتکلیف (NSE)
بسیار خوب	۰/۷۵ < NSE ≤ ۱
خوب	۰/۶۵< NSE ≤ ۰/۷۵
رضایت بخش	۰/۵< NSE ≤ ۰/۶۵
غیر قابل قبول	NSE ≤ ۰/۵۰

ضریب تعیین (R^2): این ضریب نشان‌دهنده قسمتی از تغییرات کل (یا واریانس کل) مقادیر مشاهده شده است که به‌وسیله مقادیر شبیه‌سازی شده توجیه می‌شود. آماره R^2 نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و انـدازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مقادیر R^2 بین صفر تا یک متغیر است، چنانچه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برابر باشند مقدار R^2 برابر با یک می‌باشد (Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

پس از اجرای اولیه مدل و حصول نتایج شبیه‌سازی رواناب در حوضه روانسر سنجابی رودخانه قره‌سو، به‌منظور واسنجی مدل در دوره ماهیانه و روزانه از ۱۴ پارامتر مختلف یاد شده در جدول ۴ استفاده شد. نتایج ارزیابی مرحله واسنجی مدل SWAT با توجه به پارامترهای بهینه به‌دست آمده، با توجه به معیارهای آماری مورد استفاده در تحقیق و برای داده‌های رواناب در مقیاس زمانی ماهیانه در جدول ۶ آورده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۶ ضرایب NSE و R^2 به‌ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ تعیین شد که نشانگر مناسب بودن شبیه‌سازی صورت گرفته رواناب ماهانه در دوره واسنجی می‌باشد. نمودارهای داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ماهیانه رواناب در دوره واسنجی در شکل ۷ نشان داده شده است.

همان‌گونه که از شکل ۷ نیز مشخص است، مدل SWAT در مرحله واسنجی نتایج رضایت‌بخشی دارد به‌طوری که هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب در مقیاس ماهیانه دارای تطابق نسبتا کاملی با هم می‌باشند. با توجه به نمودار شکل ۷ یال‌های بالا رونده و پایین رونده هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان تا ماه ۶۴ام دارای تطابق خوبی با هم می‌باشند. اما، از ماه ۶۴ام به بعد یال پایین رونده هیدروگراف شبیه‌سازی شده جریان ماهیانه دارای شیب کمتری نسبت به یال پایین رونده هیدروگراف مشاهداتی می‌باشد و به‌عبارتی مدت زمان بیشتری برای خروج رواناب از حوضه در این دوره به‌وسیله مدل شبیه‌سازی شده است که این امر می‌تواند به‌دلیل ناهمگن بودن حوضه و عدم مشارکت تعدادی از زیرحوضه‌ها در خروجی سیلاب مشاهداتی، عدم یکنواخت بودن بارش در حوضه و خطاهای انسانی در برداشت داده‌ها صورت گرفته باشد.

به‌منظور اعتبارسنجی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهیانه از داده‌های رواناب در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج مربوط به دوره اعتبارسنجی مدل با استفاده از معیارهای آماری استفاده شده در تحقیق در جدول ۷ آورده شده است.

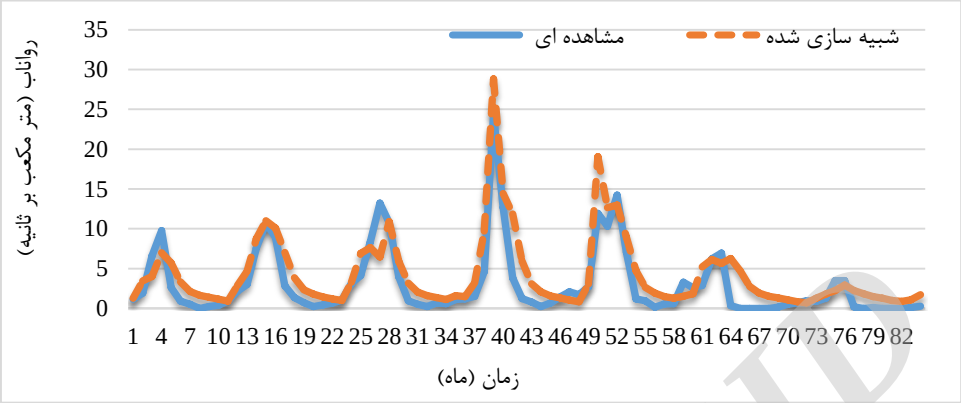
با توجه به نتایج جدول ۷ مدل SWAT در دوره صحت‌سنجی نیز دارای نتایج بسیار مناسبی می‌باشد، به‌طوری که ضریب ناش ساتکلیف برای این دوره ۰/۸۱ و ضریب تعیین R^2، ۰/۹ محاسبه شد. هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان ماهیانه برای دوره صحت‌سنجی مدل در شکل ۸ آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های آماری مدل SWAT در مرحله واسنجی در مقیاس ماهیانه در سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۰۸

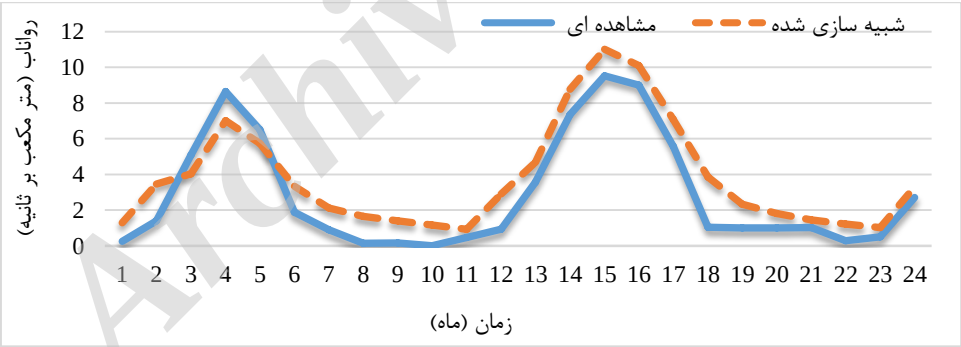
شاخص ارزیابی	مقدار محاسبه شده
ضریب ناش ساتکلیف (NSE)	۰/۷
ضریب تعیین R^2	۰/۸



شکل ۷- نمودار داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب ماهیانه در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ (مرحله واسنجی مدل)

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی مدل در مرحله صحت‌سنجی در مقیاس ماهیانه در سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۰

شاخص ارزیابی	مقدار محاسبه شده
ضریب ناش ساتکلیف (NSE)	۰/۸۱
ضریب تعیین R^2	۰/۹



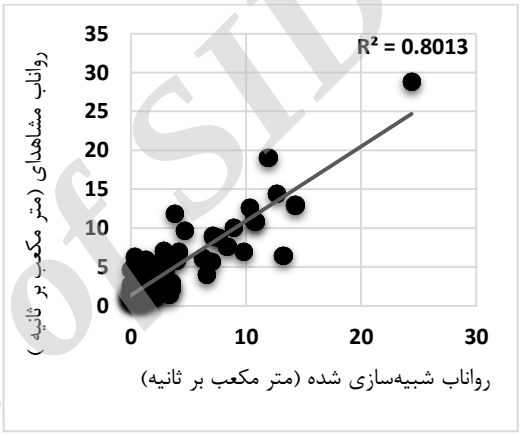
شکل ۸- نمودار داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب ماهیانه در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ (مرحله صحت‌سنجی مدل)

بیشترین و کمترین مقدار رواناب مشاهده‌ای در دوره صحت‌سنجی به‌ترتیب مربوط به ماه مارچ سال ۲۰۱۰ و ماه اکتبر سال ۲۰۰۹ (ماه‌های ۱۵ و ۱۰ در نمودار) و برابر با ۹/۵۱ و صفر مترمکعب بر ثانیه می‌باشد و این در حالی است که رواناب شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل در این ماه‌ها بیشتر و به مقدار ۱۱/۰۱ و ۱/۱۵ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. با توجه به نمودار شکل ۸ هیدروگراف شبیه‌سازی شده رواناب ماهانه در سال اول دوره صحت‌سنجی (ماه‌های یک تا ۱۲ در نمودار) در دو ماه اول و همچنین، ماه‌های شش الی ۱۲ دارای مقادیر بیشتر رواناب نسبت به هیدروگراف مشاهده‌ای می‌باشد و این درحالی است که دبی اوج هیدروگراف و همچنین، مقادیر رواناب شبیه‌سازی شده در ماه‌های دو الی پنج در این سال کمتر از دبی اوج و مقادیر رواناب مشاهده‌ای در این ماه‌ها می‌باشد. هیدروگراف شبیه‌سازی شده در سال

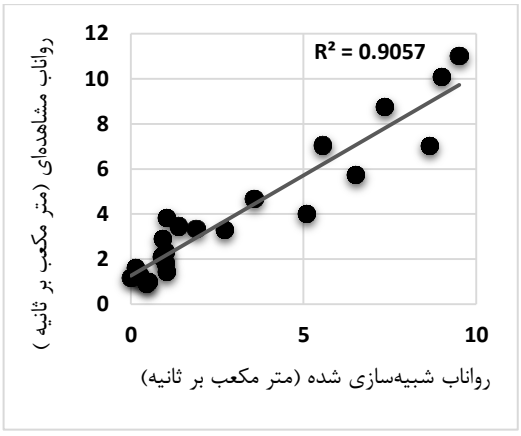
Archive of SID

www.SID.ir

دوم دوره صحت‌سنجی (ماه‌های ۱۳ تا ۲۴ در نمودار) دارای دبی پیک بیشتر و به‌طور کلی مقادیر شبیه‌سازی شده بیشتری نسبت به مقادیر مشاهداتی می‌باشد. کمتر و بیشتر بودن مقادیر رواناب شبیه‌سازی شده در دوره صحت‌سنجی می‌تواند به‌دلیل توزیع متغیر مکانی و زمانی بارش در سطح حوضه، زیاد و یا کم حساب شدن مقادیر تبخیر از حوضه به‌وسیله مدل و همچنین، ناهمگن بوده حوضه باشد. نمودار نکویی برازش داده‌های شبیه‌سازی شده ماهیانه در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی انتخابی با داده‌های مشاهداتی در این دوره‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است.



الف- دوره واسنجی رواناب ماهیانه (۲۰۰۸-۲۰۰۲)



ب- دوره اعتبار سنجی رواناب ماهیانه (۲۰۱۰-۲۰۰۹)

شکل ۹- نمودار نکویی برازش بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ماهیانه رواناب در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

با توجه به شکل ۹ داده‌های شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT در مقیاس ماهیانه در مراحل واسنجی (شکل ۹- الف) و اعتبارسنجی (شکل ۹- ب) دارای برازش خوبی با داده‌های مشاهداتی می‌باشد. به‌طوری که در مرحله واسنجی مقدار R^2 برابر با ۰/۸ و در مرحله اعتبارسنجی مقدار R^2 بیشتر و برابر با ۰/۹ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهانه با استفاده از مدل SWAT در حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه شد. دوره آماری انتخاب شده سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۰ بود که واسنجی مدل در هفت سال (۲۰۰۸-۲۰۰۲) و اعتبارسنجی آن در دو سال (۲۰۱۰-۲۰۰۹) صورت گرفت. جهت واسنجی مدل در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸، ۱۴ پارامتر مختلف در نظر گرفته شد و با توجه به مقادیر بهینه پارامترها در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی مدل در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ انجام شد. نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته به‌وسیله مدل با استفاده از دو شاخص آماری ناش ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین (R^2) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل نشان از کارایی و مناسب بودن مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهیانه برای حوضه روانسر سنجابی می‌باشد. به‌طوری که ضریب ناش ساتکلیف برای دوره واسنجی ۰/۷ و ضریب تعیین (R^2) برای این دوره ۰/۸ محاسبه شد و برای دوره صحت‌سنجی مدل ضریب ناش ساتکلیف ۰/۸۱ و ضریب تعیین ۰/۹ به‌دست آمد.

در مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعاتی که به‌وسیله جباری و همکاران در سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ در این حوضه انجام شده است، در این تحقیق مدل SWAT برای دوره‌های جدیدتری واسنجی (۲۰۰۸-۲۰۰۲) و اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۲۰۰۹) شد و دارای نتایج بهتری در شبیه‌سازی رواناب ماهانه در مقایسه با مطالعه آن‌ها می‌باشد، به‌طوری که مقادیر ضرایب ارزیابی NSE و R^2 هم در دوره واسنجی و هم صحت‌سنجی به‌مراتب بیشتر محاسبه شد که دلیل آن می‌تواند استفاده از تعداد بیشتری پارامتر در مرحله واسنجی مدل (۱۴ پارامتر در این مطالعه در مقابل هشت پارامتر) و همچنین، محدوده بهینه‌تر تغییرات و مقادیر این پارامترها در شبیه‌سازی رواناب در این حوضه باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این

Archive of SID
www.SID.ir

پژوهش می‌توان از مدل SWAT جهت شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوضه روانسر سنجابی، جهت برنامه‌ریزی‌های منابع آبی و اقدامات مدیریتی لازم در این حوزه آبخیز به خوبی استفاده نمود. همچنین، بررسی و ارزیابی کاربرد این مدل در شبیه‌سازی سایر مؤلفه‌های بیلان آبی مؤثر در حوضه روانسر سنجابی و در پایه‌های زمانی مختلف دیگر (روزانه و یا سالانه) می‌تواند از جمله موضوعات مطالعات پیشنهادی آتی به‌وسیله محققین دیگر در این حوزه آبخیز باشد.

منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, K.C., A.C. Johnson and T.H.M. Van Genuchten. 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadose Zone Journal, 3: 1340–1352.
2. Abbaspour, K.C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology, 333: 413-430.
3. Akbari, H. 2011. Daily Runoff Simulation in Chehel Chai River in Golestan Province using SWAT Model. MSc Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 120 pages (in Persian).
4. Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah and J.R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. Journal of the American Water Resource Association, 34: 73–89.
5. Dovonec, E. 2000. A physically based distributed hydrologic model. MSc Thesis, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, 185 pages.
6. Emerson, C.H., C. Welty and R.G. Traver. 2003. Application of HEC-HMS to model the additive effects of multiple detention basins over a range of measured storm volumes. Civil Engineering Database, Part of World Water and Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia, 228 pages.
7. Erfanian, M., M. Biazi, H. Abghari and A. Oori. 2013. Monthly simulation of stream flow and sediment using the SWAT in Nazlochai and prioritization of critical regions. Journal of Watershed Engineering and Management, 7: 552–562 (in Persian).
8. Goodarzi, M., B. Zahabioun, A. Mesah Bowani and A. Kamal. 2013. Evaluation of three SWAT, IHACRAS, and hydrological models in runoff simulation in Ghareh Sou Basin. Journal of Water and Drainage Management, 1: 25–40 (in Persian).
9. Hosseini, M. 2011. Effect of landuse changes on surface runoffand suspended sediment yield of Taleghan Catchment, Iran. PhD Thesis, UPM University, Serdang, Malaysia, 210 pages.
10. Hosseini, M. 2014. Water balance simulation of Garahsou basin of Kermanshah province by using SWAT model. Journal of Watershed Engineering and Management, 6: 63–73 (in Persian).
11. Hosseini, M. and M.A. Ashraf. 2015. Application of the SWAT Model for Water Components Separation in Iran. Springer, 5: 97-98.
12. Hosseini, M., M. Ghafouri, M. Tabatabaei, M. Goodarzi and Z. Mokarian. 2016. Estimating hydrologic budgets for six Persian Gulf watersheds, Iran. Applied Water Science, 7: 1-10.
15. Jeong, J., N. Kannan, J. Arnold, R. Glick, L. Gosselink and R. Srinivasan. 2010. Development and integration of sub-hourly rainfall-runoff modeling capability within a watershed model. Journal of Water Resources Management, 24: 4505-4527.
16. Kult, J., W. Choi and J. Choi. 2014. Sensitivity of the snowmelt runoff model to snow covered area and temperature inputs. Applied Geography, 55: 30–38.
17. Li, K.Y., M.T. Coe, N. Ramankutty and R. De Jong. 2007. Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. Journal of Hydrology, 337: 258-268.
18. Lin, B., X. Chen, H. Yao, Y. Chen, M. Liu, L. Gao and A. James. 2015. Analyses of land use change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. Ecological Indicators, 58: 55−63.
19. Misra, R.K. and C.W. Rose. 1995. An examination of relationship between erodibility parameters and soil strength. Journal of Soil Research, 33: 715-732.
20. Mishra, A., J. Froebrich and P.W. Gassman. 2007. Evaluation of the SWAT model for assessing sediment control structures in a small watershed in India. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), 50: 469−477.
21. Murty, P.S., A. Pandey and S. Suryavanshi. 2014. Application of semi-distributed hydrological model for basin level water balance of the Ken basin of Central India. Hydrological Processes, 28: 4119-4129.

Archive of SID

www.SID.ir

22. Oeurng, C., S. Sauvage and J.M. Sanchez-Perez. 2011. Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. Journal of Hydrology, 401: 145-153.
23. Porhemmat, J., M. Nakhaei, M.A. Dadgar and A. Biswas. 2018. Investigating the effects of irrigation methods on potential groundwater recharge, case study: semiarid regions in Iran. Journal of Hydrology, 565(2018): 455-466.
24. Refsgaard, J.C. and J. Knudsen. 1996. Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models. Water Resources Research, 32: 2189–2202.
25. Romanowici, A.A., M. Vanclooster, M. Rounsevell and I. La Junesse. 2005. Sensitivity of the SWAT model to the soil and land use data parameterization, a case study in the Thyle catchment, Belgium. Ecological Modelling, 187: 27-39.
26. Rostamian, R., A. Jaleh, M. Afyuni, S.F. Mousavi, M. Heidarpour, A. Jalalian and K.C. Abbaspour. 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Journal of Hydrology, 53: 977-988.
27. Schuol, J., K.C. Abbaspour, H. Yang, R. Srinivasan and A.J.B Zehnder. 2008. Modelling blue and green water availability in Africa. Water Resources Research, 44: 1-18.
28. Sommerlot, A., A. Nejadhashemi, S. Woznicki, S. Giri and M. Prohaska. 2013. Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment yield at field-scale. Journal of Environmental Management, 127: 227-236.
29. Xiaobo, J. 2008. Impacts of land cover changes on runoff and sediment in the Cedar Creek Watershed, Joseph River Indiana, United States. Journal of Mountain Science, 5: 113-121.
30. Zuo, D., Z. Xu, W. Yao, S. Jin, P. Xiao and D. Ran. 2016. Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. Science of the Total Environment, 544: 238-250.

Archive of SID

www.SID.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2017.109516.1273

Monthly runoff simulation through SWAT hydrological model and evaluation of model in calibration and validation periods, case study: Ravansar Sanjabi Basin in Kermanshah Province, Iran

Seyed Vahid Shahoei[*1], Jahangir Porhemmat[2], Hossein Sedghi[3], Majid Hosseini[4] and Ali Saremi[5]

[1] PhD Candidate in Water Resources Engineering, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, [2 and 4] Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, [3] Professor, Department of Water science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran and [5] Assistant Professor, Department of Water science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 07 February 2017 Accepted: 22 May 2017

Abstract

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is a continuous and semi-distributive model which can simulate the hydrological processes in basins on daily, monthly and yearly time scales through a wide range of information such as physical data of basins (soil, land use, slope) as well as weather information such as precipitation, temperature, wind, relative humidity, solar radiation and connectivity to geographic information systems (GIS). In this research, the monthly runoff of Ravansar Sanjabi basin (1260 Km^2), in Kermanshah Province of Iran is simulated through SWAT hydrological model. Runoff simulation is done in a period of nine years from 2002 to 2010, where the first seven years of this period (2002-2008) is selected as a calibration period by using 14 various parameters and the two end years (2009 to 2010) as a validation period of model. The results of simulations during the calibration and validation periods are evaluated through two statistical indices namely Nash–Sutcliffe coefficient (NSE) and coefficient of determination (R^2). According to compared simulated and observed monthly flow hydrographs and also calculated statistical coefficients, the SWAT model has acceptable results in simulating monthly runoff during both calibration and validation periods, so that the NSE and R^2 coefficients are calculated equal to 0.7, 0.8 and 0.81, 0.9 for calibration and validation periods, respectively.

Key words: Surface water, Discharge estimate, Coefficient of determination, Nash–Sutcliffe coefficient, Hydrograph

[*] Corresponding author: vahid.shahoei@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir