Journal of Environment and Water Engineering
ISSN: 2476-3683

مجله محیط زیست و مهندسی آب
شابک : ۲۴۷۶-۳۶۸۳

ارزیابی و مقایسه دو مدل یکپارچه AWBM و نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه

سید وحید شاهویی و جهانگیر پرهمت

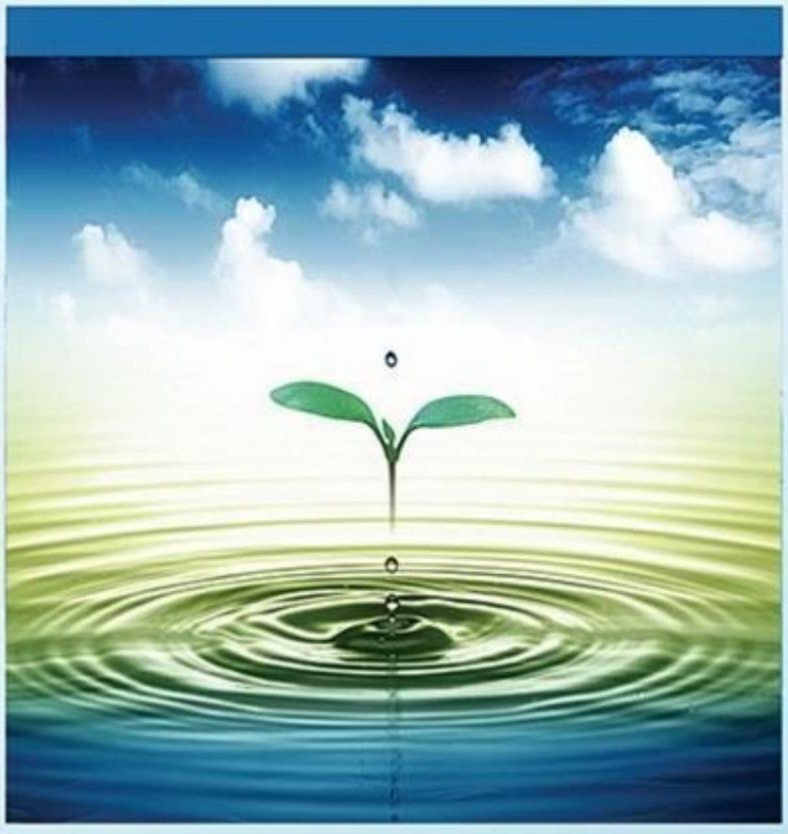
دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحات ۸۲-۷۱

Vol. 5(1), Spring 2019, 71 – 82

DOI: 10.22034/jewe.2019.143387.1275

Comparison and Assessment of Two Lumped AWBM and Semi-Distributed SWAT Models in Monthly Runoff Simulation of Gharah-Sou River in Kermanashah Province, Iran

Shahoei S. V. and Porhemat J.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: شاهویی س. و. و پرهمت ج. (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه دو مدل یکپارچه AWBM و نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۱، صفحات: ۸۲– ۷۱.

Citing this paper: Shahoei S. V. and Porhemat J. (2019). Comparison and Assessment of Two Lumped AWBM and Semi-Distributed SWAT Models in Monthly Runoff Simulation of Gharah-Sou River in Kermanashah Province, Iran. J. Environ. Water Eng., 5(1), 71– 82. DOI: 10.22034/jewe.2019.143387.1275

ارزیابی و مقایسه دو مدل یکپارچه AWBM و نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه

سید وحید شاهویی[1]* و جهانگیر پرهمت[2]

[1]استادیار، گروه مهندسی عمران (مهندسی و مدیریت منابع آب)، مؤسسه آموزش عالی توسعه دانش، سنندج، ایران
[2]استاد، گروه هیدرولوژی و منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ، تهران، ایران

***نویسنده مسئول:** vahid.shahoei@gmail.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۷/۰۵/۱۵] **تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۰۲/۲۱]** **تاریخ پذیرش: [۱۳۹۸/۰۲/۲۴]**

چکیده

تعیین هرکدام از مؤلفه‌های بیلان آبی از جمله کارهای پژوهشی می‌باشد که در سالیان اخیر، توسط مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در اکثر حوزه‌های آبریز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی‌های دقیق هیدرولوژیکی میسر نمی‌باشد. از این‌رو، انتخاب مدلی که بتواند فرآیندهای هیدرولوژیکی را در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل عوامل، به‌خوبی شبیه‌سازی کند امری ضروری می‌باشد که در این راستا در پژوهش حاضر رواناب ماهانه حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه به‌وسیله دو مدل AWBM و SWAT شبیه‌سازی شد. مدل AWBM یک مدل یکپارچه می‌باشد که شبیه‌سازی رواناب در حوزه‌های آبریز را با استفاده از دو متغیر بارندگی و تبخیر انجام می‌دهد و از طرف دیگر مدل SWAT یک مدل پیوسته و نیمه توزیعی است که شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی را با استفاده از مشخصات فیزیکی حوضه (خاک، کاربری اراضی، شیب) و همچنین اطلاعات آب و هواشناسی متعددی همچون بارندگی، درجه حرارت، باد، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی انجام می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی رواناب در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از دو شاخص آماری ناش ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین R^2 مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه نتایج شاخص‌های آماری مورد استفاده در مطالعه مشخص شد که مدل SWAT دارای نتایج بهتری در شبیه‌سازی رواناب ماهانه در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی است. طوری‌که مقدار ضریب NSE برای این مدل در این دو دوره به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸۱ و برای مدل AWBM به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۵ تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: اعتبار سنجی؛ رواناب؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ واسنجی؛ هیدروگراف.

۱- مقدمه

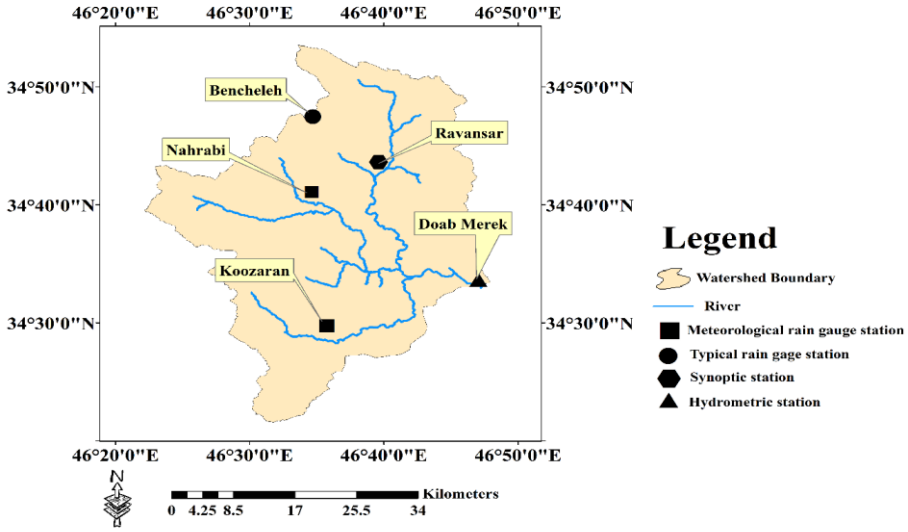
مدل نماینده ساده‌ای از کل سیستم حوضه و یا به عبارتی نمایانگر بخشی از واقعیت‌های موجود در یک سیستم است. مدل‌های هیدرولوژیکی قادر به شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی سطح زمین به‌منظور بهبود مدیریت منابع آب می‌باشند. در بسیاری از حوزه‌های آبریز که نیازمند برنامه‌ریزی منابع آب هستند، ایستگاه‌های آب‌سنجی برای اندازه‌گیری وجود ندارد، یا اینکه آمار ایستگاه‌های اندازه‌گیری ناقص است و به نظر نمی‌رسد که در آینده نزدیک همه مناطق دارای ایستگاه‌های اندازه‌گیری شوند. بنابراین روش یا روش‌هایی که به کمک آنها بتوان میزان رواناب به دست آمده از بارندگی در حوزه‌های بدون آمار یا دارای آمار ناقص را تخمین زد، از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌گردند. Rostamian et al. (2008) از مدل SWAT برای تخمین رواناب و رسوب در حوزه بهشت‌آباد در کارون شمالی استفاده نمودند. نتایج مدل برای متوسط رواناب ماهانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بسیار رضایت‌بخش بود به‌طوری‌که مشخص شد مدل در شبیه‌سازی رواناب خیلی بهتر از رسوب عمل کرده است. Hosseini (2011) در طی یک پژوهش مدل SWAT را از بین ۱۵ مدل هیدروکلیماتولوژیکی به‌عنوان مدل مناسب برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه انتخاب کرد. Oeurng (2011) با استفاده از مدل SWAT در یک حوضه وسیع با مساحت km^2 ۱۱۱۰ واقع در جنوب غربی فرانسه به شبیه‌سازی رواناب و رسوب در این حوضه پرداخت. نتایج مطالعه نشان داد که مدل SWAT توانایی شبیه‌سازی مناسب رواناب و رسوب را در حوضه‌های بزرگ داراست. Sommerlot et al. (2013) با استفاده از یک مطالعه مقایسه‌ای دقت سه مدل هیدرولوژیکی SWAT، HIT[1] و RUSLE2[2] را در شبیه‌سازی فرآیندهای 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. Hosseini (2014) 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 کارآیی مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آبی و بررسی اثرات اقدامات مختلف مدیریتی و یا تغییرات اقلیمی بر دبی جریان در حوزه آبریز قره‌سو را نشان داد. Hosseini and Ashraf (2015) 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. Hosseini et al. (2016) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی بیلان هیدرولوژیکی شش حوضه آبریز خلیج فارس نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مدل SWAT دارای نتایج رضایت بخشی در شبیه‌سازی اجزای بیلان آب در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه می‌باشد.

مدل انتخابی دیگر در این تحقیق، AWBM می‌باشد که در سال ۱۹۹۳ توسط Boughton تکمیل شد و یکی از انواع مدل‌های بارش - رواناب است که قادر می‌باشد رواناب را از بارش ساعتی و یا روزانه محاسبه نماید. با استفاده از این مدل مطالعات بسیاری در دنیا صورت گرفته است که تعدادی از آنها در ادامه ذکر می‌شود. Lang et al. (1999) با استفاده از مدل AWBM یک مدل کالیبره شده بارش - رواناب را برای حوضه‌های بزرگ خشک ارائه نمودند. Boughton، از تدوین کنندگان مدل AWBM در سال ۲۰۰۹ طی مطالعه‌ای روشی جدید برای واسنجی مدل روزانه بارش - رواناب AWBM با استفاده از داده‌های ۱۸ حوزه آبریز انجام داد و نتیجه گرفت که روش جدید واسنجی این مدل برای حوضه‌های فاقد آمار دارای کارایی مناسب و همچنین خطای کمی دارد. Tahmasebi et al. (2010) با استفاده از مدل AWBM اقدام به طراحی سیستم‌های جمع‌آوری رواناب ناشی از بارندگی‌ها در سطوح آبگیر کوچک نمودند که نتیجه مطالعه آنها نشانگر کارایی مدل در این زمینه می‌باشد. Zarin et al. (2013) اقدام به بررسی عملکرد و کارایی مدل AWBM در شش زیر حوزه بلوچستان جنوبی واقع در استان سیستان و بلوچستان کردند. نتیجه مطالعه آنها نشان داد که

[1] - High Impact Targeting
[2] - Revised Universal Soil Loss Equation

مدل AWBM دارای نتایج خوب و قابل قبولی در شبیه‌سازی رواناب در این زیرحوزه‌ها است به‌طوری‌که ضریب تعیین بین رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به‌وسیلهٔ مدل در همه زیرحوزه‌ها بالای ۰/۷۸ می‌باشد. Behmanesh et al. (2014) با استفاده از دو مدل هیدرولوژیکی AWBM و SimHyd اقدام به شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب حوزه آبریز نازلوچای در استان آذربایجان غربی کردند که نتیجه این پژوهش نشان داد هر دو مدل ذکر شده توانایی شبیه‌سازی رواناب بارندگی‌ها را در این حوضه آبریز دارند. Li et al. (2015) به بررسی توانایی مدل AWBM در شبیه‌سازی جریان پایه و همچنین جریان سریع۶۶ زیرحوضه که از نظر فیزیکی و داده‌های هیدرولوژیکی ورودی با هم متفاوت بودند، پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مدل AWBM قادر به شبیه‌سازی مناسب جریان پایه و همچنین جریان سریع به‌صورت مجزا در زیرحوضه‌های مورد بررسی نمی‌باشد و این در حالی است که کل جریان شبیه‌سازی شده به‌وسیلهٔ مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در خصوص مدل‌های AWBM و SWAT می‌توان چنین نتیجه گرفت که این دو مدل در شبیه‌سازی رواناب دارای دقت مناسبی می‌باشند. ساختار و پارامترهای مدل یکپارچه AWBM جهت شبیه‌سازی رواناب بسیار ساده‌تر از مدل نیمه توزیعی SWAT می‌باشد به‌طوری‌که تنها داده‌های مورد نیاز آن جهت شبیه‌سازی رواناب بارندگی و تبخیر می‌باشد. این در حالی است که مدل SWAT از ورودی‌ها و پارامترهای بسیاری جهت محاسبه رواناب و سایر فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده می‌کند. هدف از انجام این پژوهش بررسی و ارزیابی دقت مدل‌های یکپارچه AWBM و نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهیانه در حوزه آبریز روانسر سنجابی می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز روانسر سنجابی و شبکه رودخانه و ایستگاه‌های موجود

Fig 1. Geographical location of Ravansar Sanjabi basin, River Network and existing Stations

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه روانسر سنجابی با مختصات جغرافیایی ″ ۳۰ ′۲۱ °۴۶ تا ″ ۳۰ ′۴۹ °۴۶ طول شرقی و ″ ۰ ′۲۰ °۳۴ تا ″ ۰ ′۶ °۳۴ عرض شمالی واقع در استان کرمانشاه و به مساحت ۱۲۶۰km^2 یکی از زیرحوضه‌های کرخه می‌باشد. رودخانه اصلی این حوضه رودخانه قره‌سو، که سرچشمه اصلی این رودخانه سراب روانسر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه می‌باشد. این رودخانه با جهت شمال غربی به جنوب شرقی جریان پیدا می‌کند و در ۱۵ کیلومتری کرمانشاه به رودخانه رازآور و شاخه‌های فرعی آن به قره‌سو می‌پیوندد و با مسیر پر پیچ‌وخم دار در سطح دشت جریان یافته و در نزدیکی روستای قزانچی رودخانه مرک به آن متصل می‌شود. این رودخانه با یک شیب آرام از داخل شهر کرمانشاه عبور

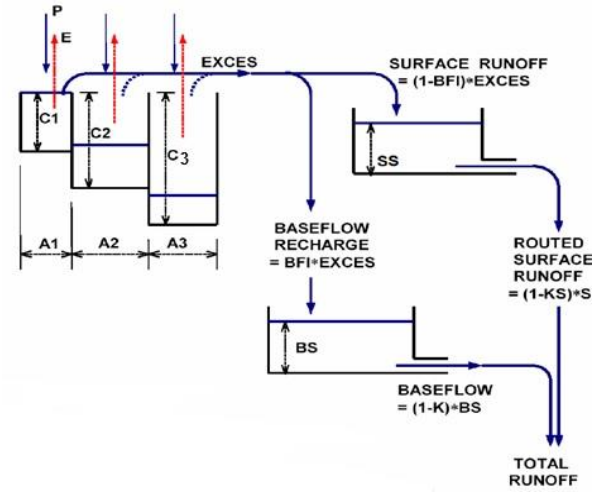
کرده و در نزدیکی فرامان به رودخانه گاماسیاب می‌پیوندد. موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز روانسر سنجابی و همچنین شبکه رودخانه و ایستگاه‌های مختلف هواشناسی، سینوپتیک و هیدرومتری موجود در آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

از آمار دبی ایستگاه هیدرومتری دو آب مرک مربوط به رودخانه قره‌سو به‌عنوان خروجی حوضه روانسر سنجابی جهت واسنجی و اعتبارسنجی نتایج مدل‌های انتخابی در شبیه‌سازی رواناب و از آمار سایر ایستگاه‌ها که داده‌های بارندگی، تبخیر، درجه حرارت، باد، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی می‌باشند جهت شبیه‌سازی رواناب در حوضه منتخب در مقیاس زمانی ماهانه با استفاده از دو مدل AWBM و SWAT استفاده شد.

۲-۲- مدل AWBM

مدل AWBM یک مدل بارش – رواناب می‌باشد که در سال ۱۹۹۳ توسط Boughton معرفی گردید و یک مدل بیلان آب حوضه‌ای می‌باشد که می‌تواند رواناب ناشی ار یک بارندگی را با استفاده از داده‌های روزانه و یا ساعتی و با محاسبه تلفات بارش به‌منظور رسم هیدروگراف سیلاب، محاسبه نماید. مدل AWBM برای شبیه‌سازی بخش‌های رواناب از سه ذخیره سطحی (C_3، C_2، و C_1) با مساحت‌های (A_3، A_2، و A_1) استفاده می‌نماید. بیلان آب برای هر یک از این سه جزء به‌طور مستقل محاسبه می‌شود. مدل برای هر بخش از رواناب بیلان رطوبتی را محاسبه و در هر گام زمانی بارندگی را به هرکدام از سه ذخیره سطحی اضافه و تبخیر و تعرق را از آنها کم می‌کند. معادله بیلان آب که در هرکدام از ذخیره‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$Store_n = Store_n + Rain + Evatranspiration \quad (۱)$$



شکل ۲- ساختار و پارامترهای مدل AWBM

Fig 2. Structure and Parameters of AWBM Model

پارامترهای مدل در شکل (۲) عبارت است از : F1، شاخص جریان پایه؛ K، ثابت کاهش روزانه جریان پایه؛ BS، حجم آب موجود در ذخیره جریان پایه؛ و KS، ثابت روزانه کاهش جریان سطحی. هنگام بارندگی ابتدا ظرفیت ذخیره سطحی C_1 پر می‌شود این ظرفیت مربوط به مناطقی از حوضه با نفوذپذیری پایین و توان تولید رواناب زیاد، همانند مناطق صخره‌ای می‌باشد. بعد از ذخیره C_1 ، به ترتیب ذخایر C_2 و C_3 پر می‌شوند. ظرفیت ذخیره C_2 دارای نفوذپذیری بیش‌تر نسبت به ذخیره C_1 و قابلیت تولید رواناب کم‌تر نسبت به آن می‌باشد و ذخیره C_3 نیز مربوط به مناطق با بیش‌ترین ذخیره سطحی، بیش‌ترین نفوذپذیری و کم‌ترین قابلیت تولید رواناب می‌باشد.

هنگامی‌که طبق این معادله میزان رطوبت در یک از سه ذخیره سطحی منفی شود، نشان‌دهنده بالا بودن میزان تبخیر و تعرق نسبت به آب در دسترس می‌باشد، میزان ذخیره سطحی به‌وسیله مدل صفر می‌گردد و هنگامی که میزان رطوبت در ذخیره سطحی بیش‌تر از ظرفیت آن گردد، میزان مازاد بر ظرفیت ذخیره به رواناب تبدیل می‌شود و ذخیره سطحی مجدد به میزان ظرفیت رطوبتی آن تنظیم می‌شود. ساختار مدل AWBM و همچنین پارامترهای مدل در شکل (۲) نشان داده شده است (Podger 2004).

۲-۲-۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل AWBM

واسنجی مدل AWBM با استفاده از مجموعه نرم‌افزار بارش رواناب[1] می‌تواند به دو صورت دستی و خودکار صورت پذیرد. نحوه واسنجی دستی مدل بدین صورت است که پس از حصول نتایج اولیه به‌وسیله مدل با تغییر پارامترها به‌وسیله کاربر هیدروگراف شبیه‌سازی شده جریان دچار تغییرات می‌شود و می‌توان با این سعی و خطا و همچنین مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای به مقادیر بهینه پارامترها دست یافت. نحوه دیگر واسنجی مدل AWBM به‌صورت خودکار می‌باشد که در این مطالعه پس از واسنجی دستی و همچنین استفاده از سایر الگوریتم‌های موجود در مجموعه نرم‌افزاری بارش رواناب با استفاده از الگوریتم SCE-UA[2] و به‌صورت خودکار اقدام به واسنجی مدل در سال‌های ۲۰۰۸- ۲۰۰۲ و در مقیاس زمانی ماهانه شد. اعتبار سنجی مدل نیز با استفاده از داده‌های رواناب ماهانه ایستگاه دوآب مرک و رودخانه قره‌سو در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ صورت گرفت.

۲-۳- مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل فرایند محور و توزیعی 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 آبریز را دریافت می‌کند (Goudarzi et al. 2012). مدل SWAT جهت شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه از معادله بیلان آبی مطابق با رابطه (۲) استفاده می‌کند.

(۲)

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

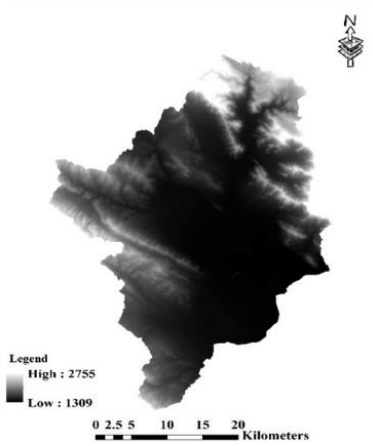
که در آن ΔSW تغییرات آب ذخیره شده در خاک، R_{day} بارندگی روزانه، Q_{surf} میزان رواناب سطحی، E_a تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep} میزان آب نفوذ یافته به منطقه غیراشباع خاک و Q_{gw} میزان جریان آب زیرزمینی که به رودخانه می‌پیوندد، می‌باشند (Mengistu 2009). این مدل برای محاسبه رواناب سطحی از روش اصلاح شده SCS و یا روش گرین امپت استفاده می‌کند. این روش اصلاح شده SCS برای داده‌های بارندگی ورودی به مدل در مقیاس زمانی روزانه و روش گرین امپت برای داده‌های بارندگی ورودی به مدل در مقیاس زمانی ساعتی می‌باشد. 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 به وسیلهٔ مدل در نظر گرفته می‌شوند. رابطه محاسبه ارتفاع رواناب حوضه در روش SCS به‌صورت رابطه (۳) می‌باشد.

$$Q_{Surface} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + s)} \qquad (۳)$$

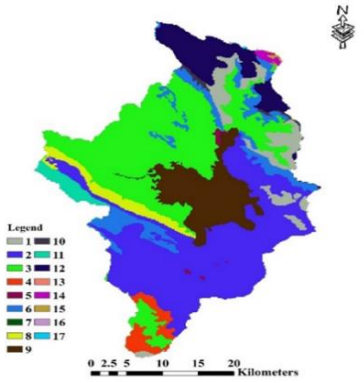
که در آن $Q_{Surface}$ ارتفاع رواناب، R_{day} ارتفاع بارندگی، I_a مقادیر تلفات اولیه بارش مانند برگاب و نفوذ، S ضریب نگهداشت آب در خاک همگی بر حسب mm می‌باشند. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحد واکنش هیدرولوژیک (HRU[3]) است که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و خاک حوضه حاصل می‌شود. آب موجود در خاک، رواناب سطحی، رسوب و عناصر شیمیای ابتدا برای هر HRU و سپس برای هر زیرحوضه و در نهایت برای کل حوزه آبریز محاسبه می‌گردد (Hosseini 2014).

در این مطالعه طبقه‌بندی شیب با توجه به شیب حوضه مورد بررسی در پنج طبقه (۱۰/۶۶-۰)، (۲۱/۳۳-۱۰/۶۶)، (۳۱/۹۹-۲۱/۳۳)، (۹۹/۶۶-۳۱/۴۲) و (۵۳/۳۳-۴۲/۶۶) درجه صورت پذیرفت. همچنین نقشه‌های رقوم ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی حوضه روانسر سنجابی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران تهیه شد که در شکل (۳) نشان داده شده است.

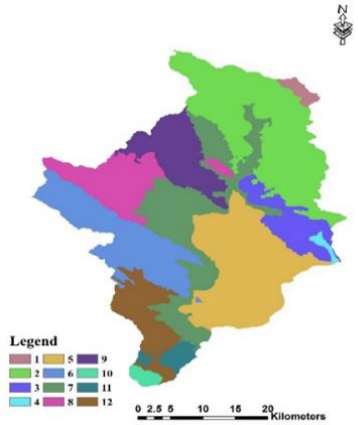
[1] - Rainfall Runoff Library
[2] - Shuffled Complex Evolution
[3] - Hydrologic Response Unit



الف) نقشه رقوم ارتفاعی
a. Digital elevation map



ب) نقشه رستر شده کاربری اراضی
b. Landuse rastered map



ج) نقشه رستر شده خاک
c. Soil rastered map

شکل ۳- نقشه‌های حوضه آبریز روانسر سنجابی
Fig 3. Ravansar Sanjabi basin maps

با توجه به شکل (۳) منطقه مورد بررسی دارای ۱۳ نوع خاک و ۱۷ کاربری اراضی است که اطلاعات مربوط به هر کدام از آنها در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک‌های موجود در حوضه روانسر سنجابی
Table 1 Information of soils in Ravansar Sanjabi Basin

شماره خاک	بافت خاک	گروه هیدرولوژیکی	تعداد لایه‌های خاک	عمق نفوذ ریشه (cm)
1	C-Cl-SCL	C	3	150
2	C	D	1	30
3	SCL-C-C	A	3	180
4	C	D	1	35
5	SC-C-C	D	3	150
6	CL	D	1	30
7	CL-SCL-C	B	3	110
8	C	B	1	35
9	C-CL-C	C	3	120
10	C-C	A	2	150
11	C-SCL-CL	D	1	150
12	CL-SCL	B	2	150

داده‌های هواشناسی که به‌منظور شبیه‌سازی رواناب به‌وسیله مدل SWAT وارد مدل شدند، عبارت است از مشخصات و پارامترهای آماری بلند مدت مورد نیاز ایستگاه مرجع هواشناسی روانسر شامل ۱۴ پارامتر همگی به‌صورت ماهانه و در قالب یک فایل Wgn و همچنین داده‌های بارندگی، دماهای بیشینه و کمینه، سرعت باد، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی همگی در مقیاس زمانی روزانه طی سال‌های ۲۰۱۰- ۲۰۰۲.

۲-۳-۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

در این مطالعه به‌منظور واسنجی مدل SWAT از الگوریتم SUFI2 در نرم افزار SWATCUP استفاده شد (Abbaspour et al. 2004). دوره واسنجی داده‌های رواناب ماهانه، سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ انتخاب گردید. برای واسنجی مدل از ۱۴پارامتر مختلف استفاده شد که در جدول ۳ آورده شده است. همانند دوره اعتبار سنجی در مدل AWBM، به‌منظور اعتبار سنجی مدل SWAT نیز سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در نظر گرفته شد.

جدول ۲- کاربری اراضی و نوع پوشش سطح زمین در حوضه روانسر سنجابی
Table 2 Landuse and overland cover in Ravansar Sanjabi Basin

شماره کاربری	نوع کاربری	شماره کاربری	نوع کاربری	شماره کاربری	نوع کاربری
1	مرتع متوسط	7	آب	13	مخلوط جنگل متوسط و مرتع خوب
2	مخلوط زراعت دیمی و آبی	8	مخلوط زراعت آبی و دیمی و مرتع متوسط	14	مخلوط زراعت آبی و باغ
3	مخلوط زراعت آبی و مرتع متوسط	9	زراعت آبی	15	جنگل ضعیف
4	مخلوط زراعت دیم و مرتع ضعیف	10	سنگ و سخره	16	جنگل متراکم
5	شهری	11	جنگل ضعیف	17	جنگل متوسط
6	مرتع ضعیف	12	مرتع خوب		

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در مرحله واسنجی مدل SWAT در منطقه مورد مطالعه
Table 3 Using Parameters in Calibration Period of SWAT Model in the studying Area

شماره	نام پارامتر	شماره	نام پارامتر
1	SMTMP	8	CN2
2	SMFMN	9	CH_K2
3	ESCO	10	REVAPMN
4	EPCO	11	CH_N2
5	ALPHA_BF	12	SURLAG
6	GW_REVAP	13	SOL_BD(1)
7	SOL_AWC(1)	14	GW_DELAY

۲-۴- معیارهای آماری در ارزیابی

۲-۴-۱- ضریب ناش ساتکلیف[1] (NSE)

ضریب NSE ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد (Romanowici 2005) در این مطالعه جهت ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی در دوره آماری انتخابی از این ضریب استفاده شده است که فرمول محاسبه آن مطابق با رابطه (۴) است.

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

که در آن $\overline{Q_m}$، میانگین دبی مشاهداتی، Q_s نشان‌دهنده دبی محاسباتی و $Q_{m,i}$ مقادیر مشاهده شده دبی در طول دوره شبیه‌سازی و هر سه بر حسب m^3/s می‌باشند. محدوده عملکرد شاخص ارزیابی NSE در شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴- محدوده عملکرد و ارزیابی شاخص ناش ساتکلیف (Kult et al. 2014).
Table 4 Model performance ratings for Nash Sutcliffe coefficient (Kult et al. 2014)

نتیجه ارزیابی	ضریب ناش ساتکلیف (NSE)
بسیار خوب	$0.75 < NSE \leq 1$
خوب	$0.65 < NSE \leq 0.75$
رضایت بخش	$0.5 < NSE \leq 0.65$
غیر قابل قبول	$NSE \leq 0.5$

۲-۴-۲- 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 اندازه‌گیری 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 et al. 2007).

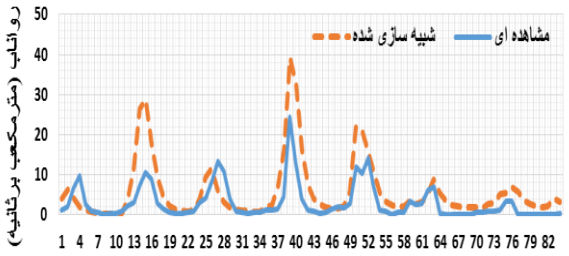
[1] - Nash Sutcliffe

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- واسنجی مدل‌های AWBM و SWAT

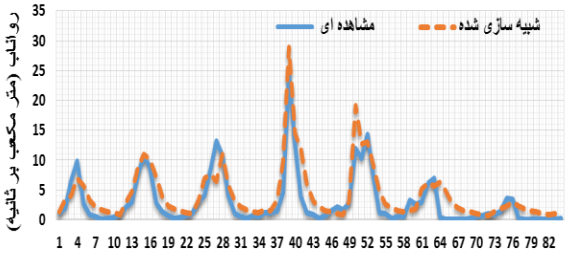
بعد از وارد کردن داده‌های بارندگی، تبخیر و رواناب (همگی در مقیاس زمانی روزانه) به مدل و مشخص کردن دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی برای آن، شبیه‌سازی رواناب در حوضه روانسر سنجابی با استفاده از مدل AWBM صورت گرفت. نتایج ارزیابی مدل‌های AWBM و SWAT در مرحله واسنجی با در نظر گرفتن دو شاخص آماری ضریب ناش ساتکلیف و ضریب تعیین R^2 نشان داد که مدل SWAT دارای شبیه‌سازی دقیق‌تری نسبت به مدل AWBM در دوره واسنجی می‌باشد طوری‌که ضرایب ناش ساتکلیف و تعیین R^2 برای مدل SWAT به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ تعیین شد در حالی که مقادیر این شاخص‌ها برای مدل AWBM در این دوره به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۶۴ محاسبه شد. هیدروگراف‌های رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی مدل‌های مورد بررسی در پژوهش در دوره واسنجی در شکل (۴) نشان داده شده است.

همان‌گونه که از نمودار شکل (۴) نیز مشخص می‌باشد، مدل AWBM در اکثر ماه‌ها در دوره واسنجی مقادیر حداکثری رواناب را خیلی بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند در حالی که مدل SWAT در اکثر ماه‌ها در طول دوره آماری، رواناب ماهانه را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده است به‌طوری‌که با توجه به شکل (۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT نسبت به هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل AWBM، برازش به‌مراتب بهتری با مقادیر رواناب مشاهده‌ای در دوره واسنجی مدل‌ها دارد. مقدار میانگین رواناب شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل‌های AWBM و SWAT در طول دوره واسنجی به‌ترتیب ۵/۸۱ m^3/s و ۴/۲۴ m^3/s می‌باشد و مقدار میانگین رواناب مشاهده‌ای در طول این دوره برابر با ۳/۰۱ m^3/s می‌باشد که اختلاف کمتر میانگین رواناب شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT با میانگین داده‌های مشاهداتی نسبت به مدل AWBM نشان از بهتر بودن شبیه‌سازی صورت گرفته به‌وسیله این مدل می‌باشد.



الف) مدل AWBM

a. AWBM Model



ب) مدل SWAT

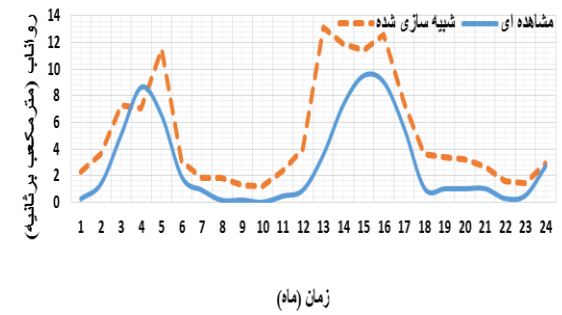
b. SWAT Model

شکل ۴- هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب ماهیانه در حوضه روانسر سنجابی در دوره واسنجی مدل‌های مورد مطالعه (۲۰۰۸-۲۰۰۲)

Fig 4. Simulated and observed monthly hydrographs of the studying models during calibration period (2002-2008)

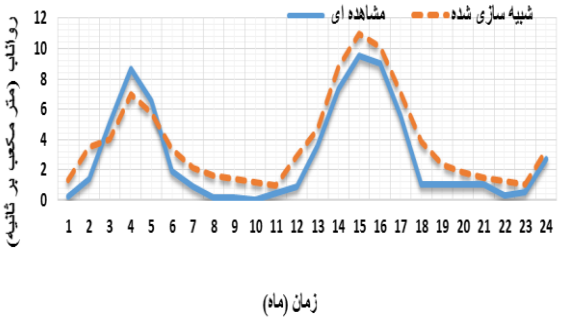
۳-۲- صحت‌سنجی مدل‌های AWBM و SWAT

در این بخش از پژوهش نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل‌های AWBM و SWAT با توجه به مقادیر پارامترهای بهینه محاسبه شده در مرحله واسنجی مدلها و برای دوره آماری ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ آورده شده است. در مرحله اعتبارسنجی مدل AWBM، مقادیر ضرایب ناش ساتکلیف و تعیین R^2 به‌ترتیب ۰/۵ و ۰/۷۵ محاسبه گردید و این ضرایب برای مدل SWAT در این دوره به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹ تعیین شد. بیش‌تربودن ضرایب آماری مورد بررسی در مدل SWAT نشان‌دهنده مناسب‌تربودن شبیه‌سازی انجام گرفته به‌وسیله این مدل نسبت به مدل AWBM می‌باشد. هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان در دوره صحت‌سنجی مدل‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است.



الف) مدل AWBM

a. AWBM Model



ب) مدل SWAT

b. SWAT Model

شکل ۵- هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب ماهیانه در حوضه روانسر سنجابی در دوره صحت سنجی مدل‌های مورد مطالعه (۲۰۱۰-۲۰۰۹)

Fig. 5 Simulated and observed monthly hydrographs of the studying models during validation period (2009-2010)

همان‌گونه که از شکل (۵) نیز مشخص می‌باشد مدل SWAT در دوره اعتبارسنجی خیلی بهتر از مدل AWBM رواناب مشاهداتی را شبیه‌سازی نموده است طوری‌که بازوهای بالارونده و پایین‌رونده و همچنین نقاط اوج هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT نسبت به هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل AWBM دارای انطباق بهتری با هیدروگراف مشاهداتی می‌باشد. میانگین رواناب مشاهده‌ای ماهیانه در دوره صحت‌سنجی ۲/۸۶ m^3/s می‌باشد و میانگین رواناب ماهیانه شبیه‌سازی شده به‌وسیله دو مدل AWBM و SWAT در این دوره به‌ترتیب ۵/۱۰ و m^3/s ۳/۸۱ است که اختلاف کم‌تر این میانگین شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT همانند دوره واسنجی نشان از بهتر بودن شبیه‌سازی صورت گرفته به‌وسیله این مدل می‌باشد.

بهتر بودن نتایج مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهیانه در حوضه روانسر سنجابی هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی نشان از بهتر بودن کاربرد مدل نیمه توزیعی SWAT نسبت به مدل یکپارچه AWBM در حوضه روانسر سنجابی می‌باشد. شبیه‌سازی رواناب در مدل نیمه توزیعی SWAT بر اساس پارامترهای مختلفی درحوضه از جمله بارندگی، درجه حرارت، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی، سرعت باد و اطلاعات مربوط به خاک، کاربری اراضی و شیب منطقه صورت می‌گیرد و این در حالی است که در مدل یکپارچه AWBM شبیه‌سازی رواناب بر اساس دو متغیر بارندگی و تبخیر و از مشخصات فیزیکی حوزه آبریز تنها فاکنور مساحت حوضه، صورت می‌گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش و مقایسه آن با مطالعاتی که مدل-های هیدرولوژیکی مختلف را در شبیه‌سازی رواناب با هم مقایسه کرده‌اند (همانند Hosseini (2011)، Goodarzi et al. (2012)، Sommerlot et al. (2013)) مشخص است که مدل نیمه‌توزیعی SWAT از نتایج بهتری در شبیه‌سازی رواناب در حوزه‌های آبریز پیچیده و ناهمگن، نسبت به مدل-های هیدرولوژیکی یکپارچه برخوردار می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی و ارزیابی دو مدل هیدرولوژیکی AWBM و SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه در حوضه روانسر سنجابی پرداخته شد. بدین منظور دوره واسنجی مدل‌ها سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۰۸ در نظر گرفته شد و اعتبارسنجی آن‌ها نیز در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ صورت گرفت. با توجه به دو شاخص آماری مورد بررسی در پژوهش و همچنین مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب، نتایج حاصل از این پژوهش به صورت زیر بیان می‌شود.

۱- ضریب ناش ساتکلیف و ضریب تعیین R^2 برای مدل SWAT در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ و برای دوره اعتبار سنجی آن ۰/۸۱ و ۰/۹ محاسبه شد و مقادیر این شاخص‌ها در دوره واسنجی مدل AWBM به ترتیب، ۰/۶۳ و ۰/۶۴ و در دوره اعتبارسنجی آن ۰/۵ و ۰/۷۵ تعیین شد.

۲- هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی دارای تطابق مناسبی با هیدروگراف مشاهداتی جریان می‌باشد در حالی که هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل AWBM هم در دوره واسنجی و هم اعتبارسنجی نسبت به مدل SWAT دارای انطباق کم‌تری با هیدروگراف مشاهداتی جریان می‌باشد به‌طوری‌که در اکثر ماه‌ها رواناب بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای شبیه‌سازی شد.

۳- مدل نیمه توزیعی SWAT نسبت به مدل یکپارچه AWBM در حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه با تقسیم حوضه به زیرحوضه‌های همگن متعدد و در نظر گرفتن پارامترهای بسیاری از آن همانند خاک، کاربری اراضی، شیب حوضه، بارندگی، دما، باد، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی دارای عملکرد و نتایج بهتری در شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه می‌باشد.

Referances

Abbaspour K. C., Johnson A.C. and Van Genuchten T. H. M. (2004). Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadose Zone J., 3, 1340–1352.

Abbaspour K. C., Yang J., Maximov I., Siber R., Bogner K., Mieleitner J., Zobrist J. and Srinivasan R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. J. Hydrol., 333, 413-430.

Behmanesh J., Jabari A., Montaseri M. and Rezaei H. (2014). Comparing AWBM and SimHyd models in rainfall-runoff modeling (Case study: Nazlou Chay catchment in west Azarbijan). Geogr. Environ. Plan., 52(4), 155–168 [In Persian].

Boughton, W. C. (1993). A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. In: Proceedings of the 1993 Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineers, Australia, National Conference Publication 93(14), 317–324.

Boughton W. (2009). A new approach to calibration of the AWBM for use on ungauged catchments. J. Hydrol. Eng., 14, 562–574.

Goodarzi M., Zahabioun B., Mesah Bowani A. and Kamal A. (2013). Evaluation of three SWAT, IHACRAS, and Hydrological models in runoff simulation in Ghareh Sou Basin. J. Water Drain. Manag., 1, 25–40 [In Persian].

Hosseini M. (2011). Effect of Landuse Changes on Surface runoffand Suspended Sediment Yield of Taleghan Catchment, Iran. PhD Thesis, UPM University, Serdang, Malaysia, 210 pp.

Hosseini M. (2014). Water balance simulation of Garahsou basin of Kermanshah province by using SWAT model. J. atershed Eng. Manag., 6, 63–73 [In Persian].

Hosseini M. and Ashraf M.A. (2015). Application of the SWAT Model for Water Components Separation in Iran. Springer, 97–98.

Hosseini M., Ghafouri M., Tabatabaei M., Goodarzi M. and Mokarian Z. (2016). Estimating hydrologic budgets for six Persian Gulf watersheds, Iran. Appl. Water Sci., 7, 1–10.

Kult J., Choi W. and Choi J. (2014). Sensitivity of the Snowmelt Runoff model to snow covered area and temperature inputs. Appl. Geogr., 55, 30–38.

Lang J., Schick A.P. and Leibundgut C. (1999). A noncalibrated rainfall-runoff model for large, arid catchments. Water Resour. Res., 35(7), 2126–2177.

Li L., Lambert M.F., Holger R.M., Partington D. and Simmons C.T. (2015). Assessment of the internal dynamics of the Australian Water Balance Model under different calibration regimes. Environ. Model. Software., 66, 57–68.

Oeurng C., Sauvage S. and Sanchez-Perez J. M. (2011). Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. J. Hydrol., 401, 145–153.

Podger G. (2004). RRL rainfall runoff library users guide. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Available from http://www.toolkit.net.au.

Romanowici A. A., Vanclooster M., Rounsevell M. and La junesse I. (2005). Sensitivity of the SWAT model to the soil and land use data parameterization. A case study in the Thyle catchment, Belgium. Ecol. Model., 187, 27–39.

Rostamian R., Jaleh A., Afyuni M., Mousavi S. F., Heidarpour M., Jalalian A. and Abbaspour K. C. (2008). Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. J. Hydrol., 53, 977–988.

Sommerlot A., Nejadhashemi A., Woznicki S., Giri S. and Prohaska M. (2013). Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment yield at field-scale. J. Environ. Manag., 127, 227-236.

Tahmasebi R., Sharifi F., Kaveh F. and Tavassoli A. (2010). Designing of Rainwater Collecting Systems in Micro Catchment by Using AWBM Model for Cultivating of Forage Maize SC704. J. Range Watershed Manag., 63(3), 359–373 [In Persian].

Zarin H., Moghaddamnia A. R., Nam Dorost J. and Mosaedi A. (2013). Simulation of outlet runoff in ungauged catchments by using AWBM Rainfall-Runoff Model. J. Water Soil Conserv., 20(2), 195–208 [In Persian].

Comparison and Assessment of Two Lumped AWBM and Semi-Distributed SWAT Models in Monthly Runoff Simulation of Gharah-Sou River in Kermanashah Province, Iran

Seyed Vahid Shahoei[1*], and Jahangir Porhemmat[2]

[1]Assisst. Prof., Department of Civil Engineering (Water Resources Management and Engineering), Knowledge Development Non-profit Higher Education Institute, Sanandaj, Iran

[2]Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Tehran, Iran

*Corresponding author: e.kahrizi94@basu.ac.ir

Original Paper

Received: December 12, 2018 **Revised:** May 02, 2019 **Accepted:** May 15, 2019

Abstract

In recent years determination of different components of water balance has been the focus of many hydrological modeling techniques. In most basins, it is not feasible to measure all the different quantities for a detailed and enhanced hydrological modeling. Therefore, it is necessary to select a model capable of simulating hydrological events with the least number of variables; while being simple to use. Hence, in this paper the monthly runoff of Ravansar Sanjabi basin, Kermanshah, Iran was simulated through AWBM and SWAT models. AWBM is a lumped model simulating the runoff in basins using rainfall and evaporation variables. On the other hand, SWAT model is a continuous and semi-distributive model, which can simulate the hydrological processes in basins through a wide range of information such as physical information of basins (soil, land use, slope) as well as weather data such as precipitation, temperature, wind, relative humidity, and solar radiation. Simulation results during the calibration and validation periods were evaluated through two statistical indices: Nash–Sutcliffe efficiency (NSE) and coefficient of determination, R^2. Comparison of calculated statistical coefficients showed that SWAT model has better results in simulating monthly runoff in calibration and validation periods so that the calculated NSE coefficient was equal to 0.7 and 0.81 respectively and 0.63 and 0.5 for AWBM model respectively.

Keywords: Calibration; Geographic Information System; Hydrograph; Runoff; Validation.