Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]

Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

سال نهم، شماره بیست‌وهفتم، تابستان ۱۳۹۹، صفحه ٤٧ـ٥٨

مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل هیدرولوژیک SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوزهٔ آبخیز کرخه

فهیمه مختاری[۱]، افشین هنربخش*[۲]، سعید سلطانی[۳]، خدایار عبدالهی[٤]، مهدی پژوهش[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱٦**

چکیده

سیلاب‌ها هرساله باعث خسارت فراوانی در نقاط مختلف به‌ویژه در جنوب غرب کشور می‌شود. حوضهٔ کرخه یکی از حوضه‌های اصلی و پرآب جنوب غرب کشور است که در فصل بهار به‌علت همزمانی بارش‌های بهاری و ذوب برف، آب‌دهی آن افزایش می‌یابد و گاهی منجر به تولید سیلاب می‌شود. این مطالعه به بررسی رواناب شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل SWAT با استفاده از دادهٔ هواشناسی درحوزهٔ آبخیز کرخه می‌پردازد. مقایسهٔ نتایج رواناب شبیه‌سازی‌شده با دبی رواناب مشاهداتی در ایستگاه‌های آب‌سنجی به‌طور اتوماتیک به‌وسیلهٔ الگوریتم SUFI2 در بستهٔ نرم‌افزاری SWAT_CUP انجام گرفت. میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌سازی‌شده بر اساس ضریب نش ساتکلیف و ضریب تعیین در ایستگاه‌های مختلف حوضه به دست آمد. در ایستگاه حمیدیه، این ضرایب با کمترین مقدار و در ایستگاه چم انجیر، با بیشترین مقدار به دست آمد؛ به‌گونه‌ای که در ایستگاه حمیدیه ضریب نش ساتکلیف در هر دو دورهٔ واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر با ۰/۱۹- و ۰/۰٤- و در ایستگاه چم انجیر به‌ترتیب برابر با ۰/۷٦ و ۰/۷۷ بوده است. ضریب تعیین نیز برای ایستگاه حمیدیه در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۲۲ و برای ایستگاه چم انجیر ۰/۸۸ و ۰/۷۵ به دست آمد. نتایج شبیه‌سازی رواناب در بقیهٔ ایستگاه‌ها نیز دور از واقعیت نیست که این نشان می‌دهد مدل SWAT توانایی این شبیه‌سازی را در حوضهٔ آبخیز کرخه دارد و پژوهشگران می‌توانند از این مدل برای اعمال سناریوهای مدیریتی در زمان کوتاه و هزینهٔ کم جهت تصمیم‌گیری بهتر استفاده کنند.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی رواناب، SWAT، SWAT-CUP، SUFI2، ضریب نش ساتکلیف، ضریب تعیین.

---

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد

۲. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، نویسنده مسئول، afshin.honarbakhsh@gmail.com

۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

٤. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد

۵. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد

* این مقاله مستخرج از رسالهٔ دکتری دانشگاه شهرکرد است.

DOI:10.22052/deej.2020.9.27.25

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

مقدمه

امروزه مدل‌های هیدرولوژیک و اکولوژیکی می‌توانند ابزارهایی را برای پاسخ‌گویی به سؤالات مرتبط با کاربری اراضی و مدیریت آب به کار گیرند و همچنین پارامترهای خاک و هیدرولوژی مرتبط با تعادل و کیفیت آب را در یک حوزهٔ آبخیز بر اساس داده‌های اقلیمی، مدل‌سازی کنند. این مدل‌ها قابلیت محاسبهٔ آب و ماهیت جریان را در دامنه‌ای بزرگ و در مقیاس زمانی و مکانی مختلف دارند. بنابراین، متخصصان علوم مختلف از جمله آبخیزداری، هیدرولوژی و منابع آب، مدل‌های متعددی به‌منظور شبیه‌سازی فرایندهای یک حوزهٔ آبخیز عرضه کرده‌اند. از جمله مدل‌هایی که امروزه به‌شکل وسیعی در سرتاسر دنیا در پژوهش‌های مدیریت حوزهٔ آبخیز استفاده می‌شود می‌توان به مدل SWAT اشاره کرد (فرامرزی و همکاران، ۲۰۰۹).

مؤلفه‌های اصلی مدل SWAT شامل هیدرولوژی، هواشناسی، رشد گیاه، فرسایش، مدیریت زمین، روندیابی رودخانه، مواد مغذی و سموم است. برخی از مهم‌ترین مزایای این مدل عبارت‌اند از: قابلیت شبیه‌سازی حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، کارایی مدل برای شبیه‌سازی مکانیسم‌های پیچیده در حوزه‌های بزرگ، قابلیت کمی کردن تأثیر نسبی آب‌وهوا و پوشش گیاهی بر کیفیت آب، صرفه‌جویی در زمان برای شبیه‌سازی حوزه‌های بزرگ. مدل SWAT در مقیاس‌های مختلف زیرحوزه‌ای، حوزه‌ای، ملی و قاره‌ای توسط محققان رشته‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای بررسی مسائل پیچیدهٔ محیط زیست و منابع آب در سیستم‌های حوزهٔ آبخیز شناخته می‌شود. مدل SWAT در تحلیل مسائل مربوط به حوزهٔ آبخیز به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به بررسی و شبیه‌سازی رواناب و رسوب، بررسی مؤلفه‌های آب آبی و سبز و ارزیابی اثرات خشکسالی و تغییر اقلیم اشاره کرد (نیتچ[1] و همکاران، ۲۰۱۱).

ژانگ[2] (۲۰۱۳) از مدل SWAT برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های حدی در حوضهٔ لانجیانگ، زیرحوضه‌ای از حوضهٔ رودخانهٔ کیان تانک در شرق چین استفاده کردند. برای کاهش محاسبات پارامترهای اصلی به‌وسیلهٔ مجموع پارامترها جایگزین شدند. سه سناریو انتخاب و از یک مدل اقلیمی ناحیه‌ای، و برای ریزمقیاس کردن از مدل گردش جهانی) استفاده کردند.

شفیعی و همکاران (۲۰۱۳) از مدل نیمه‌توزیعی SWAT در حوضهٔ نیشابور با مساحت ۹۳۵۰ کیلومترمربع برای شبیه‌سازی جریان در یک دورهٔ ۸ ساله استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد استفاده از مدل‌های نیمه‌توزیعی به‌دلیل پیچیدگی سیستم هیدرولوژیک در منطقهٔ مورد مطالعه، نتایج مطلوبی ندارد. گلشن و همکاران (۲۰۱۵) کارایی مدل SWAT را در شبیه‌سازی رواناب حوضهٔ آبخیز هراز شامل زیرحوضه‌های کره سنگ، رزن، چلاو و پنجاب با مساحت‌های مختلف ارزیابی کردند. آن‌ها به‌منظور تحلیل حساسیت، از الگوریتم SUFI2 برای پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی زمان وقوع و میزان دبی اوج در ایستگاه‌های استفاده کردند.

بارندگی و دمای ریز مقیاس‌شده برای جورج و ساتیان[3] (۲۰۱۶) رفتار هیدرولوژیک زیرحوضهٔ کورومالی در حوضهٔ رودخانهٔ کاراوانور در هند را به‌وسیلهٔ مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. کارایی مدل توسط ضریب نش ساتکلیف[4] و ضریب تعین سنجیده شد، به‌نحوی که این مقادیر برای دورهٔ واسنجی به‌ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۹۶ و برای دورهٔ صحت‌سنجی ۰/۹ و ۰/۹۹ محاسبه شد. به‌علاوه نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سهم پارامتر جریان آب زیرزمینی ٦٤٪ جریان جانبی ۱۲٪ و رواناب سطحی ۹٪ از بارندگی سالانه است.

حسینی و همکاران (۲۰۱۶) از مدل SWAT به‌منظور برآورد جریان زیرزمینی در ٦ حوضهٔ جنوب غرب کشور شامل حوضه‌های کلکل، باغان، مرغاب، شکستیان، تنگ بریم و درآگاه استفاده کردند. به‌جز حوضهٔ شکستیان استان فارس، نتایج این پژوهش حاکی از کارایی قابل قبول و مطلوب مدل در برآورد بیلان در حوضه‌های مورد مطالعه بود.

1. Neitsch
2. Zhang
3. George and Sathian
4. Nash Sutcliffe

www.SID.ir

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

Archive of SID

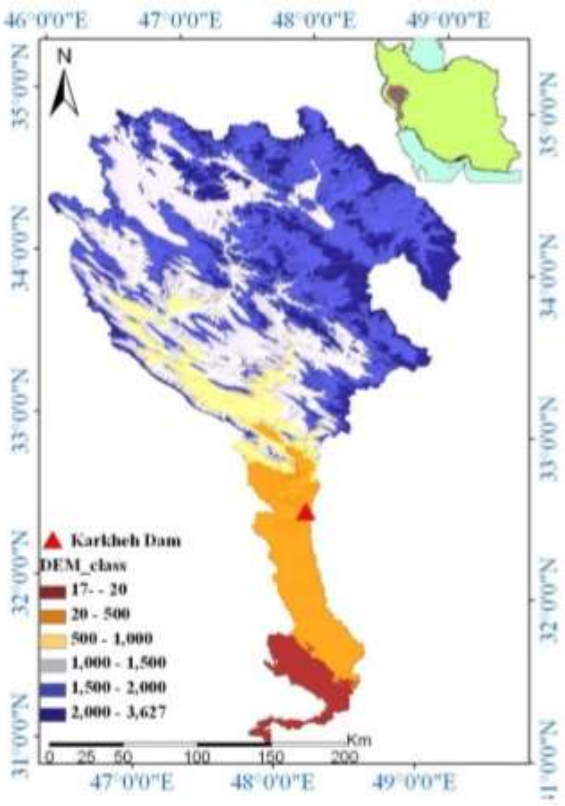
کوهستانی (۲۰۱۶) از مدل SWAT برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های منابع آب (آب آبی و سبز) در حوضهٔ زاینده‌رود در سه دورهٔ اقلیمی پایه، آیندهٔ بلندمدت (۲۰۲۰ــ۲۱۰۰) و آیندهٔ دور (۲۰۶۰ــ۲۱۰۰) و برای انجام تحلیل حساسیت، واسنجی و تحلیل عدم قطعیت از الگوریتم SUFI2 استفاده کرده است. نتایج نشان داد که مدل SWAT دقت قابل قبولی برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه در مرحلهٔ واسنجی داشت و مقادیر شاخص‌های آماری، توانایی مناسب مدل در شبیه‌سازی روند تغییرات جریان و رواناب را نشان دادند. ون لیو[1] و همکاران در سال ۲۰۱۸ شدت جریان را با مدل SWAT و مدل HSPF در هشت حوضهٔ کشاورزی در حوضهٔ رودخانهٔ واشیتا آمریکا شبیه‌سازی و با یکدیگر مقایسه کردند. در نهایت دریافتند که اختلاف دو مدل بیشتر به‌دلیل اختلاف مکانیزم آن‌ها در محاسبهٔ رواناب است. سپس نتیجه گرفتند که مدل SWAT در رابطه با پیش‌بینی شدت جریان، نتایج قابل اعتمادتری نسبت به HSPF تحت شرایط آب‌وهوایی مختلف به دست می‌دهد.

با وجود اینکه در زمینهٔ استفاده از این مدل در بررسی‌های مربوط به حوزه‌های آبخیز مطالعات گسترده‌ای انجام گرفته است، به‌دلیل ناکافی بودن و دقت پایین اطلاعات مکانی از جمله نوع خاک، نوع کاربری اراضی، همچنین پراکندگی و تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده برای واسنجی و اجرای مدل، لزوم مطالعات دقیق‌تر در این زمینه به نظر می‌رسد. ازاین‌رو، نوآوری این تحقیق در آن است که با نگاهی دقیق‌تر بر عواملی که پیش‌تر گفته شد و همچنین استفاده از پارامترهای بیشتر در امر واسنجی مدل نسبت به مطالعات پیشین، دقت نتایج حاصل از این مدل افزایش یابد. بنابراین در پژوهش حاضر با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک SWAT و SWAT-CUP رواناب در ایستگاه‌های متعدد حوضه شبیه‌سازی شد و بر اساس ضریب نش ساتکلیف با رواناب مشاهداتی مقایسه شد تا بر این اساس دقت داده‌های مشاهداتی مشخص شود. در واقع فرض این مطالعه آن است که مدل‌های مورد استفاده می‌توانند توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی رواناب داشته باشند.

مواد و روش اجرا

حوضهٔ مطالعاتی

رودخانهٔ کرخه سومین رود پرآب در ایران است که بزرگ‌ترین سد مخزنی در ایران و خاورمیانه روی آن ساخته شده است. حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ کرخه بر روی نقشه‌های توپوگرافی در محدودهٔ جغرافیایی ′۶ ، °۴۶ تا ′۱۰، °۴۹ طول شرقی و ′۵۸، °۳۰ تا ′۵۶، °۳۴ عرض شمالی واقع شده است. این حوزه یکی از حوضه‌های اصلی غرب کشور است با وسعت ۵۱۵۲۷ کیلومترمربع که حدود ۳۳۶۷۴ کیلومترمربع آن در مناطق کوهستانی قرار داشته و ۱۷۸۵۳/۱۹ کیلومترمربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند (شکل ۱) (فیض‌نیا، ۲۰۰۸).



شکل (۱): نقشهٔ موقعیت حوضهٔ آبخیز کرخه در ایران

Figure (1): Location map of Karkheh watershed in Iran

1. Van Liew

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل مفهومی پیوستهٔ زمانی است که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه یا طولانی‌مدت قابل اجراست. (آرنولد[1] و همکاران،۲۰۱۰). در این مدل، از معادلات مربوط به آب‌وهوا، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریت اراضی به‌جای استفاده از معادلات رگرسیونی به‌منظور توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی در حوضهٔ آبخیز استفاده می‌شود. چرخهٔ هیدرولوژیک که به‌وسیلهٔ مدل SWAT شبیه‌سازی می‌شود، بر پایهٔ روابط پیوستگی بیلان آب است (نیتچ و همکاران، ۲۰۱۱):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

که t زمان (روز)، SW_t مقدار نهایی آب موجود در خاک (میلی‌متر)، SW_0 مقدار اولیهٔ آب موجود در خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارش در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر) و W_{seep} مقدار آبی است که از پروفیل خاک به ناحیهٔ غیراشباع خاک در روز i ام وارد می‌شود (میلی‌متر).

در مدل SWAT دو روش برای تخمین رواناب سطحی وجود دارد: روش شمارهٔ منحنی[2] و روش نفوذ گرین و آمپت[3] در این پژوهش با توجه به اطلاعات در دسترس، از روش شمارهٔ منحنی که در رابطهٔ (۲) آمده است، استفاده شد. با استفاده از این رابطه می‌توان ارتفاع رواناب را برای هر زیرحوضه و نیز برای کل حوضه محاسبه و مقادیر حداکثر و حداقل آن را پیدا کرد (نیتچ و همکاران، ۲۰۱۱):

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \quad (۲)$$

پارامتر S به‌صورت مکانی با تغییرات خاک، کاربری اراضی، مدیریت و شیب منطقه و به‌صورت زمانی با تغییرات آب موجود در خاک تغییر می‌کند. S به‌صورت رابطهٔ (۳) تعریف می‌شود (نیتچ و همکاران، ۲۰۱۱):

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

که Q_{surf} رواناب سطحی (میلی‌متر)، R_{day} عمق بارش روزانه (میلی‌متر)، S پارامتر نگهداشت رطوبت (میلی‌متر) و CN پارامتر خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری است. این پارامتر بی بعد بوده و تابعی از جنس زمین، پوشش گیاهی موجود و رطوبت خاک است.

مدل SWAT از سه روش گوناگون برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می‌کند. این روش‌ها عبارت‌اند از: هارگریوز- سامانی، پریستلی- تیلور و روش پنمن - مانتیس. انتخاب و به‌کارگیری هریک از این روش‌ها به داده‌های اقلیمی موجود وابسته است (نیتچ و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش با توجه به اطلاعات در دسترس از روش هارگریوز- سامانی که برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق پتانسیل تنها به پارامتر درجه‌حرارت و تابش خورشیدی دریافتی (وابسته به عرض جغرافیایی) نیاز دارد، استفاده شده است.

داده‌های مورد نیاز مدل SWAT

مدل SWAT نظیر سایر مدل‌های ریاضی - فیزیکی نیازمند آمار و اطلاعات جامع از حوضهٔ مورد مطالعه است.

نقشهٔ مدل رقومی-ارتفاعی حوضه (DEM): در مدل SWAT از مدل رقومی ارتفاع برای محاسبات طول، عرض و عمق کانال اصلی جریان آب، شبکهٔ آبراهه‌های حوضه و خصوصیات مورفومتری آبخیز مانند مساحت، محیط، طول استفاده می‌شود. نقشهٔ DEM برای تعریف محدودهٔ آبخیز برای تحلیل واحدهای زهکشی سطح زمین استفاده می‌شود، و باید در قالب رستری به مدل وارد شود. پارامترهای توپوگرافی از قبیل درجهٔ شیب، طول شیب منطقه و خصوصیات شبکهٔ آبراهه از قبیل شیب آبراهه، طول و عرض از نقشه DEM به دست می‌آید. این نقشه می‌تواند دارای قدرت تفکیک متفاوتی باشد اما هرچه این عدد کمتر باشد دقت خروجی مدل SWAT بیشتر می‌شود (آرنولد و همکاران، ۲۰۱۰). در این مطالعه، از نقشه DEM با قدرت تفکیک ۳۰ متری استفاده شد که توسط شرکت ESRI تهیه شده است.

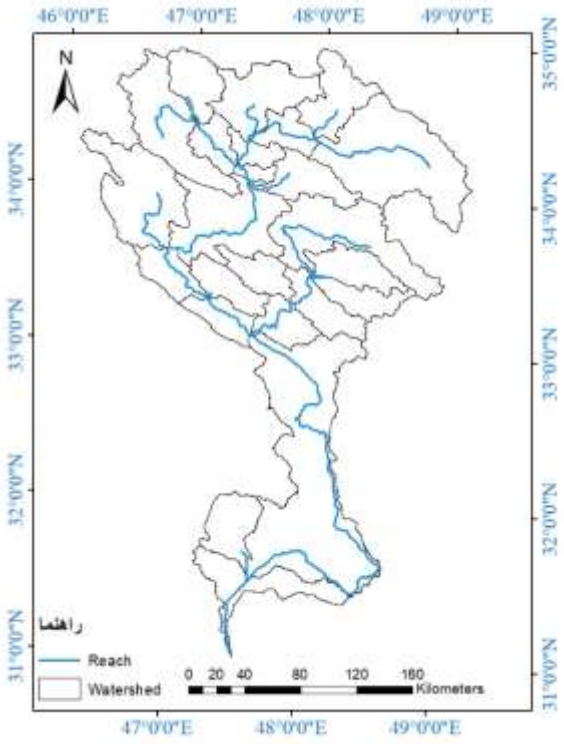
1. Arnold
2. SCS Curve Number Method
3. Green and Ampt Method

www.SID.ir

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

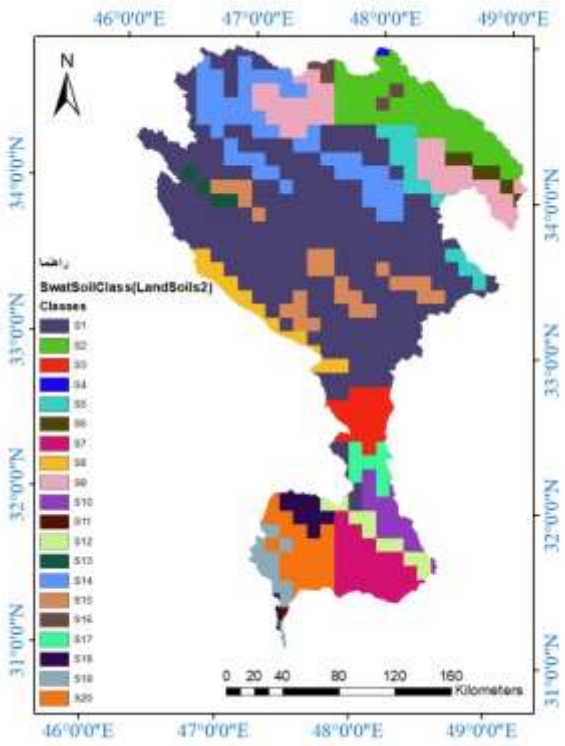
Archive of SID

شبکهٔ جریان رودخانه‌ای: شبکهٔ جریان رودخانه‌ای برای سطوحی که خیلی کم‌ارتفاع هستند، نیاز است جایی که بر اساس DEM نمی‌توان با دقت موقعیت جریان رودخانه‌ها را شبیه‌سازی کند (شکل ۲).



شکل (۲): نقشهٔ شبکهٔ جریان اصلی حوضهٔ رودخانهٔ کرخه
Figure (2): Karkheh River Basin Flow Network Map

نقشهٔ خاک: مدل SWAT به بافت خاک و خصوصیات فیزیکی شیمیایی آن در لایه‌های مختلف خاک نیاز دارد. این خصوصیات خاک‌شناسی باید به مجموعه داده‌های مدل وارد شوند. از آنجایی که جدول‌های خاک‌شناسی مناطق مختلف ایران در جدول‌های خاک SWAT قرار ندارند، این جدول‌ها باید توسط کاربر تهیه و به مدل وارد شوند. در این مطالعه، از نقشهٔ جهانی بافت خاک سازمان خواربار کشاورزی (FAO) استفاده شد. این نقشه در مقیاس ۱۰ کیلومتر در ۱۰ کیلومتر تهیه شده است که با توجه به مقیاس بزرگ حوزهٔ آبخیز کرخه می‌توان از آن استفاده کرد. داده‌های خاک‌شناسی مورد نیاز برای مدل SWAT شامل ساختمان خاک، (SOL_SAND) مقدار شن، (SOL_SILT) سیلت و (SOL_CLAY) رس، (SOL_CBN) کربن آلی، (SOL_EC) هدایت الکتریکی، (SOL_CRK) تخلخل، رطوبت خاک، (SOL_K) هدایت هیدرولیکی اشباع، (SOL_BD1) چگالی ظاهری و (HYDGRP) گروه‌های هیدرولوژیک خاک (A, B, C, D) می‌باشند. شکل (۳) نقشهٔ خصوصیات مختلف خاک را نشان می‌دهد.



شکل (۳): نقشهٔ خصوصیات مختلف خاک حوضهٔ روخانهٔ کرخه
Figure (3): Map of soil properties of Karkheh River Basin

از این نقشه‌ها همراه با نقشه‌های پوشش گیاهی برای تقسیم‌بندی حوضه به زیرحوضه و واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU) استفاده می‌شود.

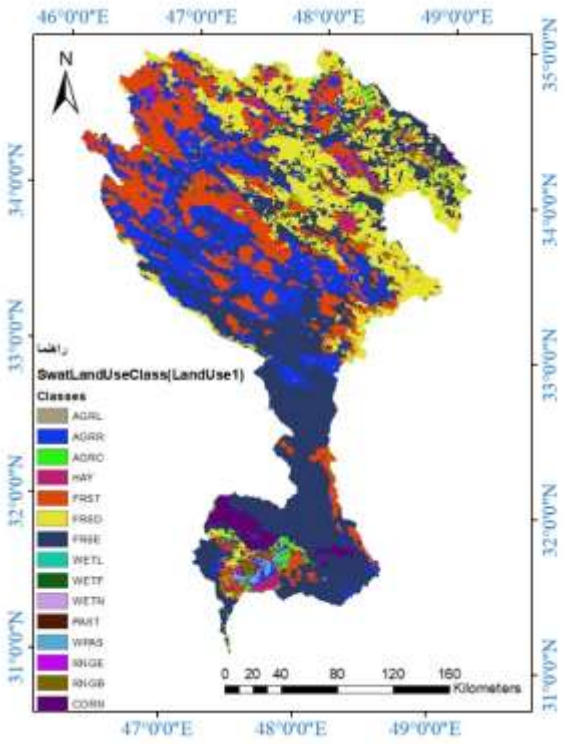
نقشهٔ کاربری اراضی: نقشهٔ کاربری اراضی یکی دیگر از ورودی‌های مدل SWAT است که به تقسیم‌بندی حوضه‌ها به واحدهای هیدرولوژیک (HRU) کمک می‌کند. علاوه بر وارد کردن نقشهٔ رستری کاربری اراضی به مدل، مدل SWAT به ۴۱ پارامتر موجود در فایلی به نام crop در پایگاه داده‌های مدل نیاز دارد. این پارامترها برای ۱۱۰ پوشش گیاهی مختلف به‌طور پیش‌فرض در پایگاه داده‌های مدل وجود دارد و کاربر می‌تواند برای پوشش گیاهی خاص در منطقهٔ مطالعاتی مورد نظر آن‌ها را به پایگاه داده‌های مدل وارد کند. در این مطالعه از نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع ایران و مدیریت آبخیزداری که کلاس‌های کاربری

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

اراضی را با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ ارائه می‌کند، استفاده شد. با این قدرت تفکیک ۱۵ کلاس کاربری اراضی در منطقهٔ مطالعاتی مشخص شد که شکل (٤) نقشهٔ کاربری ارا ضی حوضهٔ کرخه را نشان می‌دهد.



شکل (٤): نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ رودخانهٔ کرخه
Figure (4): Land use map of Karkheh River Basin

داده‌های اقلیمی ورودی: مدل SWAT برای شبیه‌سازی‌ها به داده‌های اقلیمی در مقیاس روزانه نیاز دارد، که این داده‌ها یا داده‌های مشاهداتی (موجود در فایل ورودی) که به مدل وارد می‌شوند یا آمار مفقودی هستند که به‌وسیلهٔ مولد داده‌های اقلیمی[1] تولید شده‌اند (آرنولد، ۲۰۱۰). در این مطالعه، از داده‌های اقلیمی ۱۷ ایستگاه هواشناسی استفاده می‌شود. در این مطالعه حوضهٔ کرخه با به کار بردن دو گروه مختلف داده بارندگی و دمای روزانهٔ پراکنده در سطح حوضه و اجرای پروژه SWAT2012 در بازهٔ زمانی مربوط به داده‌ها (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸)، حوضه به ۵۷ زیرحوضه تقسیم شد. همچنین برای هر HRU شیب، خاک و کاربری غالب در نظر گرفته شد. ایستگاه‌های هواشناسی که به این منظور از داده‌های آن‌ها استفاده شد شامل اهواز، الشتر، بستان، بروجرد، دزفول، همدان، ایلام، کنگاور، کرمانشاه، خرم‌آباد، کوهدشت، ملایر، مازو، نورآباد، پل‌دختر، روانسر و صفی‌آباد دزفول می‌باشند.

تحلیل حساسیت: قدم اول در بررسی کارایی مدل انجام آنالیز حساسیت برای تعیین پارامترهای حساس در اجرای مدل به‌منظور واسنجی است. از طریق آنالیز حساسیت، میزان تغییر در مقادیر خروجی مدل به‌ازای تغییر در میزان ورودی‌های آن محاسبه شده و پارامترهای حساس در اجرای مدل تعیین می‌شود. روش‌های مورد استفاده برای انجام آنالیز حساسیت در حالت کلی به دو گروه تحلیل‌های موضعی و سراسری طبقه‌بندی می‌شوند. تحلیل موضعی که به روش یک فاکتور در یک زمان نیز شناخته می‌شود، در حقیقت واکنش شبیه‌سازی مدل را به تغییرات پیوستهٔ هر پارامتر در شرایط ثابت بودن سایر پارامترها مورد بررسی قرار می‌دهد (مورگان و نیرینگ[2] ۲۰۱۷). در پژوهش حاضر از آنالیز حساسیت از روش تحلیل موضعی انجام شد. همچنین به‌منظور واسنجی مدل از الگوریتم SUFI2[3] در چهارچوب نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. در این برنامه فرض می‌شود که هر پارامتر به‌طور یکنواخت در یک دامنه با عدم قطعیت معین توزیع شده است. الگوریتم SUFI2 طی ۹ گام اجرا می‌شود. مراحل واسنجی شامل تعریف تابع هدف، تعریف دامنه برای هر پارامتر، آنالیز حساسیت مطلق برای همهٔ پارامترها، تعیین دامنهٔ عدم قطعیت اولیه برای هر پارامتر جهت نمونه‌برداری لاتین‌هایپرکیوب، نمونه‌برداری به‌روش لاتین‌هایپرکیوب در هر مرحلهٔ اجرا، محاسبهٔ تابع هدف برای هر مرحلهٔ شبیه‌سازی، محاسبهٔ حساسیت نسبی، محاسبهٔ عدم قطعیت و ارائهٔ دامنهٔ جدید برای هر پارامتر به‌منظور کاهش عدم قطعیت هستند. دامنهٔ پارامترها به‌صورت تجربی یا بر مبنای بررسی‌های انجام‌شدهٔ پیشین در منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب می‌شود. در الگوریتم SUFI2، ۷ تابع هدف متفاوت تعریف شده است و واسنجی مدل تا رسیدن مقادیر هریک از توابع

1. Weather generator

2. Morgan and Nearing
3. Sequential uncertainty fitting algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

هدف به مقدار بهینه ادامه می‌یابد. در این پژوهش برای بهینه‌سازی تابع هدف از ضریب نش ساتکلیف استفاده شد که از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است (عباسپور، ۲۰۰۹):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{m.i} - Q_{s.i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{m.i} - \overline{Q_m})^2} \quad (٤)$$

که n تعداد مشاهدات، $Q_{m.i}$ و $Q_{s.i}$ به‌ترتیب مقادیر رواناب اندازه‌گیری و برآوردشده (مترمکعب بر ثانیه) و $\overline{Q_m}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ رواناب (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشند. مقدار عددی ضریب NSE از منفی بی‌نهایت تا ۱ (مقدار بهینه) متغیر بوده و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر آن است که مدل برآورد بهتری داشته است. عموماً اگر شاخص نش ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد کارایی مدل عالی، اگر بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ باشد رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰/۵ باشد غیرقابل قبول فرض می‌شود (نش و ساتکلیف، ۱۹۷۰). پس از واسنجی، صحت‌سنجی مدل با استفاده از پارامترهای به دست آمده در مرحله واسنجی و از مقادیر مشاهداتی که در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار نگرفته است، سنجیده می‌شود. در صورت شبیه‌سازی قابل قبول مدل برای کاربرد آماده خواهد بود. در مطالعهٔ حاضر از داده‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ ۱۱ ایستگاه هیدرومتری حوزهٔ آبخیز کرخه به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی مدل استفاده شده است. دوره زمانی شبیه‌سازی برای واسنجی (۱۹۹۰ـ۲۰۰۹) و برای صحت‌سنجی (۲۰۱۰ـ۲۰۱۸) انتخاب شد و مدل اجرا گردید که در آن سه سال اول بازه زمانی یعنی سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ به‌عنوان دورهٔ تعادل‌جویی به‌منظور دستیابی به عملکرد بهینه در واسنجی مدل تعیین شدند. موقعیت مکانی و مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در حوزهٔ آبخیز کرخه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری حوزهٔ آبخیز کرخه

Table (1): Occurrence of hydrometric stations of Karkheh watershed

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
حمیدیه	٤٨°٢٦′٠٠″	٣١°٣٠′٠٠″	٢٠
پای پل	٤٨°٠٩′٠٠″	٣٢°٢٥′٠٠″	٩٠
پل زال	٤٨°٠٥′٠٠″	٣٢°٤٩′٠٠″	٣٠٠
پلدختر	٤٧°٤٣′٥٠″	٣٣°٠٩′٤٤″	٧٠٠
آفرینه	٤٧°٥٣′٤١″	٣٣°١٩′٥٣″	٨٢٠
چم انجیر	٤٨°١٤′٥٦″	٣٣°٢٦′٤٤″	١١٤٠
سراب سید علی	٤٨°١٢′٠٠″	٣٣°٤٧′١٣″	١٥٣٠
نورآباد	٤٧°٥٨′٠٠″	٣٤°٠٥′٠٠″	١٨٠٠
دوآب مرک	٤٦°٤٧′٠٠″	٣٣°٤٦′٠٦″	١٢٩٠
کاکارضا	٤٨°١٥′٠٦″	٣٣°٤٦′٠٦″	١٥٣٠
پلچهر	٤٧°٢٦′٠٠″	٣٤°٢١′٠٠″	١٢٨٠

نتایج

در تحلیل حساسیت ۲۹ پارامتر که از پیش‌فرض‌های مدل هستند، مورد بررسی قرار گرفت ولی با توجه به ویژگی‌های حوضهٔ آبخیز مورد مطالعه، مدل SWAT نسبت به ۱۸ پارامتر مؤثر بر رواناب حساسیت بیشتری نشان داد (جدول ۲) و ۱۱ پارامتر دیگر تأثیری بر شبیه‌سازی رواناب حوضه نداشتند و به‌عنوان پارامترهای غیرحساس در نظر گرفته و از مراحل واسنجی حذف شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

جدول (۲): پارامترهای حساس برای شبیه‌سازی رواناب حوضهٔ آبخیز کرخه

Table (2): Sensitive parameters for simulating runoff of Karkheh watershed

ردیف	پارامتر حساس	ردیف	پارامتر حساس
۱	CH_K2	۱۰	RCHRG_DP
۲	CN2	۱۱	GW_DELAY
۳	SOL_K	۱۲	GW_REVAP
٤	SOL_BD	۱۳	SFTMP
٥	SOL_AWC	١٤	SMTMP
٦	EPCO	١٥	SMFMN
۷	ESCO	١٦	TIMP
۸	SHALLST	١٧	PCPMM
۹	SLSUBBSN	١٨	ALPHA_BF

در پژوهش‌هایی مشابه فرامرزی و همکاران (۲۰۰۹)، پس از تحلیل حساسیت مدل SWAT به پارامترهای مؤثر در تولید رواناب برای کل کشور، مجموع ۲۲ پارامتر را به‌عنوان پارامترهای اصلی و حساس معرفی کردند که اثر همهٔ این پارامترها بر خروجی مدل در این پژوهش نیز بررسی شده است. رستمیان و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر تغییرات ۲٦ پارامتر بر شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل SWAT در حوضهٔ آبخیز بهشت‌آباد در کارون شمالی گزارش کردند که تغییرات برخی از این پارامترها بر اوج جریان و یا جریان پایه و یا هر دو اثرگذار بود. از پارامترهای حساس انتخاب‌شده در مرحلهٔ آنالیز حساسیت، برای واسنجی مدل استفاده شد. در مرحلهٔ بعد، پارامترهای حساس به نرم‌افزار SWAT-CUP وارد شد. سپس این پارامترها با الگوریتم SUFI2، ۵۰۰ بار مورد تکرار قرار گرفتند و در نهایت مقدار بهینه برای هر پارامتر مشخص شد. در جدول (۳) مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی رواناب برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود ضریب نش ساتکلیف و ضریب تعیین در همهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری به‌جز پنج ایستگاه سراب سید علی، پلچهر، نورآباد، حمیدیه و پای پل، در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی به مقادیر بهینهٔ آن‌ها یعنی یک نزدیک است؛ به‌عبارتی ضرایب به‌دست‌آمده در ٦ ایستگاه دیگر بیشتر از ۰/۵ است که این موضوع بیانگر آن است که مدل در شبیه‌سازی رواناب توانایی قابل قبولی داشته است.

در ایستگاه‌های سراب سید علی، پلچهر و نورآباد، مدل SWAT نتوانسته رواناب را به‌خوبی شبیه‌سازی کند که علت آن می‌تواند قرارگیری این ایستگاه‌ها در نواحی مرتفع حوضه و سرشاخه‌ها و در نتیجه برف‌گیر بودن آن باشد. عدم پراکنش مناسب ایستگاه‌های هواشناسی در این نواحی باعث می‌شود که مدل نتواند به‌خوبی رواناب حاصل از برف را شبیه‌سازی کند. مشابه این مورد، مطالعهٔ زارع‌زاده مهریزی و همکاران (۲۰۱۷) با عنوان ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضهٔ آبخیز گاماسیاب نیز گواه این ادعاست. در ایستگاه‌های حمیدیه و پای پل نیز مدل SWAT نتوانسته بین رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ارتباط قابل قبولی برقرار سازد که علت آن تأثیر احداث سد شهید عباسپور بر روند هیدرولیکی جریان رودخانه است. پژوهش‌های صورت‌گرفته در این مورد مانند مطالعهٔ آذرنگ و همکاران (۲۰۱٦) در مورد اثرات احداث سد بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانهٔ کرخه بیانگر همین ادعاست که با احداث سد بر روی رودخانه، کاهش چشمگیری در دبی‌های مشخصهٔ حداقل، متوسط و حداکثر رودخانه ایجاد شده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ورودی مدل SWAT شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشهٔ خاک‌شناسی FAO، نقشهٔ شبکهٔ آبراهه‌ها، نقشهٔ کاربری اراضی و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی حوضهٔ آبخیز کرخه (از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸) شامل بارش روزانه، دمای حداقل روزانه و دمای حداکثر روزانه، اقدام به

www.SID.ir

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

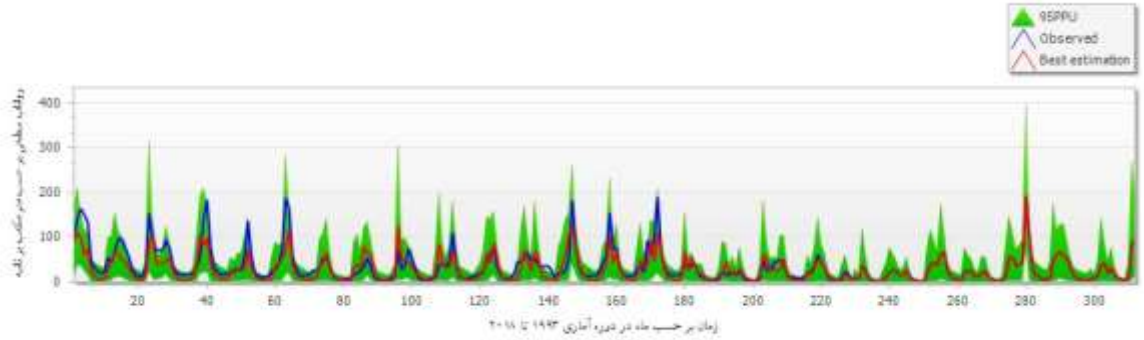
Archive of SID

شبیه‌سازی رواناب شد. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب وارد نرم‌افزار SWAT-CUP شد و با استفاده از الگوریتم SUFI-2 مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. دوسوم داده‌ها برای واسنجی و یک‌سوم آن‌ها برای اعتبارسنجی استفاده شد. به‌منظور بررسی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی از دو ضریب تعیین و نش ساتکلیف استفاده شد. نتایج واسنجی مدل نشان از همبستگی مناسب داده‌های شبیه‌سازی‌شده با مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری حوضهٔ آبخیز کرخه دارد؛ زیرا دو ضریب تعیین و نش ساتکلیف در اغلب ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه، با مقادیر قابل قبولی حاصل شده‌اند. ضرایب تعیین و نش ساتکلیف در ایستگاه‌های سراب سید علی، پلچهر، نورآباد، حمیدیه و پای پل کمتر از مقادیر قابل قبول به دست آمده‌اند. به این صورت که ضریب نش ساتکلیف برای دورهٔ واسنجی در این ایستگاه‌ها به‌ترتیب ۰/۲۵، ۰/۱۱، ۰/۲۲، ۰/۱۹- و ۰/۰۲ و برای دورهٔ اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۳۸، ۰/۴۲، ۰/٤، ۰/۰٤- و ۰/۱۸ محاسبه شد. ضریب تعیین نیز در این ایستگاه‌ها برای دورهٔ واسنجی به‌ترتیب ۰/۴۲، ۰/۲۲، ۰/٤۵، ۰/۰۲ و ۰/٤۷ و برای دورهٔ اعتبارسنجی ۰/۵۲، ۰/٤۲، ۰/٤، ۰/۲۲ و ۰/۲۹ حاصل شد. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT (داده‌های مشاهده‌ای، شبیه‌سازی‌شده و باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪) به‌صورت نمونه برای ایستگاه هیدرومتری آفرینه جهت بررسی کارایی مدل در شبیه‌سازی رواناب در حوضهٔ آبخیز کرخه به‌ترتیب در شکل‌های (۵) و (٦) نشان داده شده است.

جدول (۳): مقایسهٔ آماری دبی ماهانهٔ شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در دورهٔ واسنجی

Table (3): Statistical comparison of monthly simulated and observed discharge in the calibration period

ایستگاه هیدرومتری	طول دورهٔ آماری (سال)		آمارهٔ نش ساتکلیف		ضریب تعیین	
	صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	**واسنجی**
حمیدیه	۹	۲۰	-۰/۰٤	-۰/۱۹	۰/۲۲	**۰/۰۲**
پای پل	۹	۲۰	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۲۹	**۰/٤۷**
پل زال	۹	۲۰	۰/٦۸	۰/۵٦	۰/۸	**۰/۸۷**
پل‌دختر	۹	۲۰	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۵	**۰/۸٦**
آفرینه	۹	۲۰	۰/۷	۰/۷٤	۰/۷۳	**۰/۸۵**
چم انجیر	۹	۲۰	۰/۷۷	۰/۷٦	۰/۷۵	**۰/۸۸**
سراب سید علی	۹	۲۰	۰/۳۸	۰./۲۵	۰/۵۲	**۰/٤۲**
نورآباد	۹	۲۰	۰/٤	۰/۲۲	۰/٤	**۰/٤۵**
دوآب مرک	۹	۲۰	۰/٦۱	۰/٦۸	۰/٦۸	**۰/۸٤**
کاکارضا	۹	۲۰	۰/٦۵	۰/۷۳	۰/٦۸	**۰/۸٦**
پلچهر	۹	۲۰	۰/٤۲	۰/۱۱	۰/٤۲	**۰/۲۲**



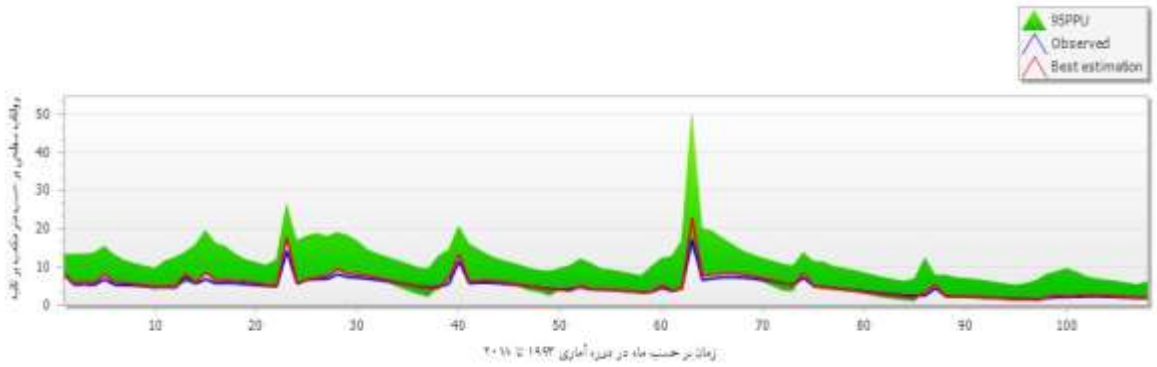
شکل (۵): نتایج واسنجی مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2 برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری آفرینه

Figure (5): SWAT Model Calibration Results Using SUFI-2 Algorithm for Simulation of Runoff at Afarineh Hydrometric Station

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020



شکل (٦): نتایج صحت‌سنجی مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2 برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری آفرینه

Figure (6): SWAT Model Validation Results Using SUFI-2 Algorithm for Simulation of Runoff at Afarineh Hydrometric Station

نتیجه‌گیری

همان گونه که اشاره شد، در این پژوهش با استفاده از داده‌های ورودی مدل SWAT ، اقدام به شبیه‌سازی رواناب شد. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب وارد نرم‌افزار SWAT-CUP شد و با استفاده از الگوریتم SUFI-2 مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. دوسوم داده‌ها برای واسنجی و یک‌سوم آن‌ها برای اعتبارسنجی استفاده شد. به‌منظور بررسی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی از دو ضریب تعیین و نش ساتکلیف استفاده شد. نتایج واسنجی مدل نشان از همبستگی مناسب داده‌های شبیه‌سازی‌شده با مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری حوضهٔ آبخیز کرخه دارد؛ زیرا دو ضریب تعیین و نش ساتکلیف در اغلب ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه، با مقادیر قابل قبولی حاصل شده‌اند.

ضرایب تعیین و نش ساتکلیف در ایستگاه‌های سراب سید علی، پلچهر، نورآباد، حمیدیه و پای پل، کمتر از مقادیر قابل قبول به دست آمده‌اند. اینکه مدل SWAT، ضرایب تعیین و نش ساتکلیف را در ایستگاه‌های سراب سید علی، پلچهر، نورآباد، حمیدیه و پای پل کمتر برآورد کرده، موردی طبیعی است؛ به‌عبارت دیگر در این ایستگاه‌ها، مقدار رواناب کمتر از مقدار واقعی آن تخمین زده شده است که پژوهشگران دیگر نیز به این ضعف مدل اشاره کرده‌اند (زارع‌زاده مهریزی و همکاران، ۲۰۱۷؛ آذرنگ و همکاران، ۲۰۱٦). علت کاهش این ضرایب در ایستگاه‌های سراب سید علی، پلچهر و نورآباد، ضعف مدل در شبیه‌سازی فرایند ذوب برف عنوان می‌شود که در حوضه‌های کوهستانی این ضعف اهمیت بیشتری دارد. با توجه به کوهستانی بودن حوضه در محل این سه ایستگاه هیدرومتری، عدم تطابق در برآورد رواناب را می‌توان به ضعف مدل در شبیه‌سازی مناسب فرایند ذوب برف نسبت داد. از دیگر دلایل بروز چنین مشکلی می‌تواند عدم دقت کافی داده‌های ورودی نظیر کمبود ایستگاه‌های هواشناسی و عدم پراکنش مناسب آن‌ها باشد؛ زیرا همان گونه که می‌دانیم مدل SWAT داده‌های این ایستگاه‌ها شامل دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه و بارش روزانه را به رواناب در مقیاس‌های زمانی مختلف تبدیل می‌کند.

در ارتباط با دخالت انسان در محیط و تغییرات رواناب در قسمت‌های پایین‌دست کرخه به‌ویژه ایستگاه‌هایی مانند حمیدیه و پای پل که مربوط به سد شهید عباسپور (سد کرخه) می‌شوند، می‌توان گفت که احداث این سازهٔ هیدرولیکی باعث کاهش بسیار زیاد رواناب در این ایستگاه‌ها شده است.

از دیگر دلایل بروز چنین مشکلاتی می‌تواند مربوط به عدم دقت کافی داده‌های ورودی نظیر نقشهٔ رقومی خاک، کاربری اراضی، نقشهٔ رقومی ارتفاع (DEM) و همچنین داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ایستگاه‌های هواشناسی حوضه، کمبود ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین معرف نبودن آن‌ها برای کل حوضه باشد.

با توجه به نتایج این مطالعه، پیشنهاد می‌شود که قبل از انجام تحقیق، همگنی منطقهٔ مورد مطالعه بررسی شود و مدل SWAT در شرایط همگن انجام شود.

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

منابع

1. Abbaspour, K.C., 2009. SWAT-CUP, SWAT Calibration and uncertainty programs, version 2 (user manual) 105.
2. Arnold, J., Srinivasan, R., Muttiah, S. and Williams, R., 2010. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1. J. Am. Water Resou. Assoc. 34, 73-89.
3. Azarang, F., Tellori, A., Sedghi, H. and Shafei, M., 2016. Effects of Large Dam Construction on Flow Conditions and Hydraulic Parameters of Karkheh River, Journal of Water and Soil (Ferdowsi University of Mashhad), 31, 27-11.
4. Feizinya, S., 2008. Applied sedimentology with emphasis on soil erosion and sediment production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications, 1.
5. Faramarzi, M., Abbaspour, R., Schulin, C. and Yang, H., 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrol. Proc. 23, 486-501.
6. George, S. and Sathian, K., 2016. Assessment of water balance of a watershed using SWAT model for water resources management, International Journal of Engineering Science and Technology, 5, 177–184.
7. Golshan, M., Kavian, A., Rouhani, H. and Esmali, A., 2015. Effect of Scale on SWAT Model Performance in Simulation of Runoff (Case Study: Haraz Catchment in Mazandaran Province), Iranian Journal of Soil and Water Research, 46, 293-303. (In Persian).
8. Hosseini, M., Ghafouri, M., Makarian, Z. and Tabatabaei, M., 2016. Estimate of the water balance in the basins reaching the Persian Gulf using the Semi-distributed SWAT Model, Journal of Soil and Water Sciences, 78, 183-194. (In Persian).
9. Kouhestani, S., 2016. Evaluation of effects of climate change on the availability of blue and green water resources in Zayandeh-rud Basin, Ph.D. thesis Water Resources Engineering, Isfahan University of Technology. 139pp. (In Persian).
10. Morgan, R. and Nearing, M., 2017. Handbook of erosion modelling, 1th, John Wiley & Sons, Ltd., Atrium.
11. Nash, J. and Sutcliffe, J., 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10, 282-290.
12. Neitsch, S., Williams, J., Arnold, L. and Kiniry, J., 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation, Texas Water Resources Institute.
13. Rostamian, R., Jaleh, A., Afyuni, M., Mousavi, S.F., Heidarpour, M., Jalalian, A., Abbaspour, K., 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran, 53, 977-988.
14. Shafei, M., Ansari, H., Davari, K., Ghahreman, B., 2013. Calibration and uncertainty analysis of a semi distributed model in a semi-arid region, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 64, 137-148. (In Persian).
15. Van Liew, M., Arnold, J., Garbrecht, J., 2018. Hydrologic simulation on agricultural watersheds choosing between two models, American society of agricultural on biological engineers. Transactions of ASAE, 46, 1539-1151.
16. Zarezadeh Mehrizi, Sh., Khorani, A., Bazrafshan, J., Bazrafshan, A., 2017. Evaluation of SWAT Model Efficiency in Simulation of Gamasiab Catchment Runoff, Iranian Journal of Natural Resources, Range and Watershed Management, 70, 893-881.
17. Zhang, X., Xu, Y., Ma, C., Gao, X., 2013. Impact of parameter uncertainty on extreme flow simulation in SWAT model under climate change, Geophysical Research Abstracts, 15, 575.

www.SID.ir

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 10:57 +0330 on Tuesday November 24th 2020

Archive of SID

Evaluating Hydrological SWAT Model in Runoff Simulation of Karkheh Watershed

Fahimeh Mokhtari[1], Afshin Honarbakhsh[2]*, Saeed Soltani[3], Khodayar Abdolahi[4], Mehdi Pajoohesh[5]

Received: 02/12/2019 Accepted: 05/05/2020

Extended abstract

Introduction: SWAT is a continuous-time model that operates on a daily time step at the basin scale. The objective of such a model is to predict the long-term impacts of management and the timing of agricultural practices within a year (i.e., crop rotations, planting and harvest dates, irrigation, fertilizer, and pesticide application rates and timing) on large basins. It could, at the basin scale, be used to simulate the water and nutrients cycle of landscapes whose dominant land use is agriculture. It could also help assess the environmental efficiency of best management practices and alternative management policies. The SWAT model uses a two-level disaggregation scheme: a preliminary sub-basin identification is carried out based on topographic criteria followed by further discretization, using land use and soil type considerations. Areas with the same soil type and land use form a Hydrologic Response Unit (HRU), a basic computational unit assumed to be homogeneous in hydrologic response to land cover changes.

The development of the digital computer has added a new dimension to hydrology. Previously, finding solutions for different problems took hours with a pen and pencil method, but now it takes seconds with modern computers. Moreover, much more complex methods of analysis are now feasible because of the speed of the solution-finding provided by the computer. The impact of the computer has been particularly great in the area of rainfall-runoff modeling. As flood routing and unit hydrograph analysis are mathematical modeling's, surface-water hydrology is, historically, concerned with modeling. Due to the climate type and the spatial and temporal inconsistency of rainfall in Iran, large floods cause many damages in different parts of the country annually, as the Mediterranean climate and different weather conditions throughout a year provide the ground for the majority of short-term atmospheric rainfall.

Materials and methods: Karkheh Basin is one of the main watersheds of Iran which has a Mediterranean climate whose level increases during the spring due to simultaneous rains and snowmelt. As one of the most important hydrological processes of the watershed for better understanding the hydrological issues of flood control structures for long-term planning, applying best management practices and making better use of their potentials, Runoff simulation plays an important role in water resources studies. Thus, to calibrate the model, select sensitive parameters were used in the sensitivity analysis step. Having imported the sensitive parameters into SWAT-CUP software, they were repeated 500 times with the SUFI2 algorithm, and finally, the optimal value for each parameter was determined.

Result: At Hamidiyeh station, the Nash Sutcliffe coefficient was -0.19 and -0.04 in both calibration and validation periods, respectively, and was 0.76 and 0.77 in Chamangir Station, respectively. The coefficients of determination for the Hamidiyeh station in the calibration and validation periods were 0.02 and 0.22, respectively, and for the Chamangir station, they were 0.88 and 0.75, respectively.

. This study investigated simulated runoff, using the SWAT model based on the meteorological data regarding the Karkheh watershed. A comparison of simulated runoff results with observational runoff at the hydrometric stations was performed automatically by the SWAT_CUP software package SUFI2 algorithm. Correlation between observed and simulated data was calculated based on the Nash Sutcliffe coefficient and the determination coefficient at different stations of the basin. Nash coefficient - Sutcliffe and coefficient of determination at all hydrometric stations except for the five stations which differed in their calibration and validation periods, were found to be close to their optimum values.

Discussion and Conclusion: The coefficient - Sutcliffe of the other 6 stations was more than 0.5, indicating that the model was capable of simulating runoff. In the mirage stations of Sarab Seyed Ali, Pulchehr, and Noorabad, the SWAT model failed to simulate runoff well, which could be due to the location of these stations in the elevated areas of the basin and its branches that were snowy. The lack of proper distribution of meteorological stations in these areas makes the model unable to simulate well the snow runoff. In Hamidiyeh and Pai-Paul stations, the SWAT model was could not establish a reliable relationship between the observed and simulated runoff due to the impact of the construction of the Shahid Abbaspour Dam on the river flow hydraulics.

Keywords: Runoff simulation, SWAT, SWAT-CUP, SUFI2, Nash Sutcliffe coefficient, determination coefficient.

1. Ph.D. Watershed, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University
2. Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Reso1urces, Shahrekord University; afshin.honarbakhsh@gmail.com
3. Professor of Range and Watershed Management, Natural Resources Faculty, Isfahan University of Technology
4. Associate Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University
5. Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University
DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.25

www.SID.ir