

مقایسه عملکرد سه مدل هیدرولوژی SWAT، IHACRES و SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب حوضه قره‌سو

محمد رضا گودرزی^{۱*}، باقر ذهبیون^۲، علی رضا مساح بوانی^۳ و علی رضا کمال^۴

(E-mail: goodarzi@iust.ac.ir)

(تاریخ دریافت: ۹۰/۰۲/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۳/۲۷)

چکیده

رواناب سطحی، یکی از دلایل عمده در فرسایش و کاهش حاصلخیزی خاک، رسوبگذاری در مخازن و کاهش کیفیت آب رودخانه می‌باشد. بنابراین، پیش‌بینی دقیق پاسخ حوضه از رویدادهای بارش مهم می‌باشد. مدل‌های هیدرولوژی نمایش ساده شده‌ای از سیستم هیدرولوژی واقعی هستند که به مطالعه درباره کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرآیندهای هیدرولوژی کمک می‌کنند. با توجه به تنوع مدل‌های بارش - رواناب در دسترس، انتخاب یک مدل بارش - رواناب مناسب برای حوضه از جهت بهره‌وری برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مهم می‌باشد. بنابراین انتخاب مدل، نیاز به تشخیص قابلیت و محدودیت مدل‌های هیدرولوژی حوضه دارد. از این‌رو، در این مقاله کارایی سه مدل بارش - رواناب SWAT، IHACRES و SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب حوضه قره‌سو مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. از جمله معیارهای ارزیابی در این مطالعه، ضریب نش (E)، تعیین (R^2) و یک معیار خطا (RMSE) هستند. دوره‌های مشترک شبیه‌سازی این سه مدل از یک بازه ۳۰ ساله انتخاب شدند. شبیه‌سازی‌ها نشان داد SWAT با ضریب نش ۰/۸ و معیار خطای ۱/۲ و SIMHYD با ضریب نش ۰/۶۸ و معیار خطای ۱/۵ بیشترین و کمترین کارایی را در دوره واسنجی دارند. این مقادیر برای دوره صحت‌سنجی ۰/۷۳ نش و ۱/۱ معیار خطا برای SWAT و ۰/۴ و دو برای SIMHYD می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد مدل SWAT بهترین عملکرد را از شبیه‌سازی رواناب حوضه نسبت به داده‌های مشاهداتی در دوره صحت‌یابی داشته است.

کلمات کلیدی: حوضه قره‌سو، مدل بارش - رواناب، SWAT، SIMHYD، IHACRES

۱ - دانشجوی دکتری مهندسی عمران - آب، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران - ایران (نویسنده مسئول مکاتبات *)

۲ - استادیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران - ایران

۳ - استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت - ایران

۴ - کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت - ایران

مقدمه

قابلیت و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژی شامل موارد مختلفی از جمله ارزیابی و تخمین اثرات هیدرولوژی در تغییر پوشش و مدیریت زمین (۲۳)، بررسی اثرات هیدرولوژی نوسانات اقلیمی (۲۳)، تخصیص منابع آب (۱۵)، آنالیز مدیریت سیلاب (۲۳)، تحقیقات اکولوژی (۶) و تحقیقات کیفیت آب (۱۴) می‌باشد. مدل‌های بارش - رواناب قابلیت درونیابی و برون‌یابی جریان را متناسب با داده‌های ورودی به مدل دارند (۱۸). مدل‌های هیدرولوژی حوضه آبریز به دسته‌های مختلفی اعم از مدل‌های تجربی^۱ در برابر فیزیکی^۲، مدل‌های رویدادگرا^۳ در برابر پیوسته^۴ و مدل‌های یکپارچه^۵ در مقابل پارامتر توزیعی^۶ طبقه‌بندی می‌شوند (۱۳). انتخاب یک مدل مناسب وابسته به فاکتورهایی از قبیل توانایی شبیه‌سازی متغیرهای طراحی (رواناب سطحی، آب‌های زیرزمینی، بار رسوب و غیره) دقت، داده‌های در دسترس و مقیاس‌های مکانی و زمانی است (۲۵).

مدل‌های هیدرولوژی با مبنای فیزیکی متفاوتی برای شبیه‌سازی رابطه بارش - رواناب تحت مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت طراحی شده است. تعدادی از مدل‌ها اقدام به لحاظ نمودن ناهمگنی ناشی از توزیع توپوگرافی، کاربری اراضی، مشخصات خاک، بارش و تبخیر و تعرق در سطح حوضه آبریز نموده‌اند. مدل ابزار ارزیابی آب و خاک^۷ یکی از مدل‌های حوضه آبریز می‌باشد که نقش اصلی در تجزیه و تحلیل اثر تغییرات مدیریتی زمین بر آب در حوضه‌های پیچیده را بازی می‌کند. این مدل به صورت وسیعی در مناطق مختلف دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرور جامعی از کاربردهای این مدل صورت گرفته است (۲۴). توانایی مدل‌های حوضه آبریز برای شبیه‌سازی دقیق فرآیندهای هیدرولوژی با آنالیز حساسیت پارامترها، واسنجی مدل و

صحت‌سنجی مدل ارزیابی می‌گردد. مدل بارش - رواناب IHACRES تاکنون به صورت وسیعی مورد آزمایش قرار گرفته است (۷). تحقیقات نشان می‌دهد که پیش‌بینی جریان توسط IHACRES در بسیاری از موارد بهتر از مدل‌های توزیعی بوده است (۱۷ و ۳۱). کاربرد این مدل در هر دو دوره واسنجی و ارزیابی آسان می‌باشد. همچنین داده‌های ورودی به آسانی قابل دسترس بوده و محاسبات کوتاه می‌باشند. مدل SIMHYD در بیش از ۳۰۰ حوضه در استرالیا به کار برده شده است (۲۰). این مدل سه منبع ذخیره را با استفاده از هفت پارامتر به کار می‌برد که شامل ذخیره سطحی، ذخیره رطوبت خاک و ذخیره آب زیرزمینی هستند. برآورد حساسیت این مدل با مقایسه سه مدل SIMHYD, AWBM و Zhang01 در ۲۲ حوضه استرالیا انجام شد (۱۲). همچنین آنالیز حساسیت پارامترهای مدل برای سه حوضه از استرالیای جنوبی مورد بررسی قرار گرفت (۹). عدم قطعیت دو مدل IHACRES و SIMHYD را در برآورد رواناب با ورودی ۱۰۰ سری زمانی دما و بارش در حوضه قره‌سو بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که دو مدل بارش - رواناب تغییرات متفاوتی را برای رواناب منطقه در دوره آبی در تمامی ماه‌های سال شبیه‌سازی کردند. به طوری که بیشترین اختلاف بین مقادیر رواناب شبیه‌سازی شده بین دو مدل در ماه فوریه و به میزان ۶۰ درصد قابل مشاهده بود که این امر نشان از تأثیر قابل توجه عدم قطعیت مدل‌های بارش - رواناب بر رواناب شبیه‌سازی شده منطقه داشت (۱). در تحقیقی دیگر دامنه اختلاف در نتایج دو مدل هیدرولوژی مفهومی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد دو مدل قابلیت یکسانی در شبیه‌سازی جریان تاریخی دارند (۴). همچنین انجام مطالعات بیشتر در مورد مقایسه بین مدل‌های هیدرولوژی می‌تواند نتایج راهبردی را برای کمک به مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب فراهم آورد.

مدل‌های هیدرولوژی زیادی وجود دارند که در مورد بهترین روش برای استفاده از آن‌ها، عدم قطعیت در ساختار و پارامتر مدل‌ها و جزئیات در رفتار آنها دانش کمی وجود دارد. در تحقیقی چهارچوبی برای استفاده از مدل‌های هیدرولوژی براساس پیچیدگی مدل‌ها با توجه به داده‌های قابل دسترس، مشخصات سیستم هیدرولوژی، هدف مدل‌سازی و عدم

- 1 - Empirical
- 2 - Physical
- 3 - Event Base
- 4 - Continues
- 5 - Lumped
- 6 - Distributed
- 7 - Soil-Water Assessment Tool (SWAT)

نیمه خشک در جنوب غربی تهران انجام شد، به دلیل اینکه مدکلارک مدلی رستری است و نتایج خروجی آن در مرحله واسنجی قابل قبول‌تر بود. نتایج نشان داد که هر دو مدل نتایج قابل قبولی برای شبیه‌سازی بارش - رواناب در این حوضه داشته‌اند، اگرچه مدل نیمه توزیعی مدکلارک به دلیل دیدن تغییرات مکانی پارامترها نتایج بهتری را نشان می‌دهد (۸).

انتخاب یک مدل هیدرولوژی از بین مدل‌های پیچیده که نیاز به ورودی‌های بسیار دارند و کار کردن با آنها سخت است یا مدل‌های ساده با کاربری آسان و ورودی‌های قابل دسترس، برای مدیران امری مهم تلقی می‌شود. میزان عدم قطعیت در برآورد نتایج نهایی از شبیه‌سازی رواناب این مدل‌ها، پرسشی است که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور، سه مدل هیدرولوژی SWAT، IHACRES و SIMHYD برای شبیه‌سازی رواناب حوضه قره‌سو مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز کرخه به مساحت ۵۰۷۶۴ کیلومتر مربع در غرب کشور، در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس بین ۴۶° ۰۶' و ۴۹° ۱۰' طول شرقی و ۳۰° ۵۸' و ۵۶' عرض شمالی قرار گرفته است. حدود ۲۷۶۴۵ کیلومتر مربع آن کوهستانی و حدود ۲۳۱۱۹ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند. مناطق کوهستانی این حوضه غالباً در بخش‌های شرقی و میانی متمرکزند و دشت‌ها که عموماً در بخش‌های شمالی و جنوبی قرار دارند، حدود ۴۵ درصد از وسعت کل حوضه را می‌پوشانند. زیرحوضه قره‌سو در شمال غربی حوضه کرخه و در غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). مساحت آن ۵۳۵۴ کیلومتر مربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۴۶ و ۱۱۸۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه آن بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر متغیر است. سه رودخانه اصلی مرک، قره‌سو و رازآور در این حوضه جریان دارند.

داده‌ها

در این تحقیق، داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های مشاهداتی دما، بارش و رواناب در دوره ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰

قطعیت خروجی مدل ارائه گردید (۲۹). در تحقیقی دیگر به مقایسه عملکرد دو مدل بارش - رواناب در حوضه آبریز راین پرداخته شد. برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان خروجی حوضه نیاز به انتخاب مدل هیدرولوژی با بهترین عملکرد است. در این تحقیق، محققین به مقایسه عملکرد مدل HBV و مدل VIC در شبیه‌سازی جریان خروجی حوضه پرداختند. مدل نیمه توزیعی مفهومی HBV نتایج بهتری نسبت به مدل توزیعی زمین - اتمسفر VIC نشان داد (۲۲). این در حالی است که با مقایسه پنج مدل بارش رواناب در حوضه‌های جنوب غرب استرالیا، نشان داده شد که وزن‌دهی به مدل‌ها در واسنجی مدل مؤثر خواهد بود، اما در دوره صحت‌سنجی اثر چندانی ندارد. نتایج نشان داد که هر قدر تعداد پارامترهای مورد نیاز در مدل‌ها برای بهینه‌سازی بیشتر باشد، عملکرد مدل بهتر می‌شود (۲۸).

در مطالعه دیگری، ساختار مدل‌های هیدرولوژی براساس شبیه‌سازی جریان‌های کم مقایسه شد که براساس این یافته‌ها شبیه‌سازی‌های جریان‌های کم در تابستان نسبت به جریان کم در زمستان بسیار نامطلوب خواهد بود (۲۶). با مقایسه عملکرد مدل‌های هیدرولوژی توزیعی برای شبیه‌سازی سیلاب در زیرحوضه‌های رودخانه زرد، نتایج نشان داد که سه مدل استفاده شده توانایی شبیه‌سازی سیلاب در حوضه مورد نظر را داشته‌اند و می‌توانند برای پیش‌بینی سیلاب در حوضه از آن‌ها بهره برد و از میان سه مدل استفاده شده مدل GIS مبنای GTOPMODEL بهترین عملکرد در شبیه‌سازی‌ها را نشان داد (۱۶). در تحقیقی دیگر محققین به مقایسه مدل‌های نیمه توزیعی و مدل‌های توده‌ای پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که در هیدرولوژی کاربردی پیش‌بینی جریان به دلیل وابستگی مکانی و زمانی متغیرهایی نظیر متغیرهای هواشناسی، نوع خاک و کاربری اراضی پیچیده می‌باشد. در این تحقیق، آنها به مقایسه عملکرد مدل بارش - رواناب نیمه توزیعی مدکلارک^۱ و مدل توده‌ای کلارک پرداختند. هدف از این مقایسه، رسیدن به جواب این سوال بود که آیا استفاده از مدلی نیمه توزیعی که تهیه داده‌های آن با توجه به مقیاس زمانی و مکانی مشکل می‌باشد، منجر به رسیدن به جواب‌های بهتر خواهد شد. این تحقیق برای حوضه راندان از حوضه‌های

یکپارچه در نظر می‌گیرند. در مقابل، مدل‌های توزیعی^۴ که با حل معادلات حاکم برای هر پیکسل در شبکه حوضه، تغییرات مکانی را نیز لحاظ می‌کنند (۳۰).

مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل فیزیکی^۵ و توزیعی^۶ است که برای پیش‌بینی اثر تغییر کاربری^۷، تغییر اقلیم و مدیریت‌ها^۸ در حوضه‌های آبریز بزرگ و پیچیده توسعه داده شده است (۲۷). این مدل یک مدل فرایند محور - نیمه توزیعی است و به جای آنکه از معادلات رگرسیونی جهت توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده نماید، اطلاعات ویژه‌ای راجع به هوا، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پوشش اراضی در حوضه آبریز دریافت می‌کند. همچنین این مدل از نظر محاسباتی کارآمدی مناسبی دارد. شبیه‌سازی حوضه‌های بسیار بزرگ یا با تنوع استراتژی مدیریتی را می‌توان بدون صرف هزینه یا زمان اضافی انجام داد. از طرف دیگر، مدل SWAT کاربران را قادر به شبیه‌سازی طولانی مدت می‌نماید و از نظر زمانی یک مدل پیوسته است. این مدل به صورت یک الحاقی^۹ تحت نرم‌افزارهای GIS می‌باشد و از قابلیت‌های آن بهره می‌گیرد. در این مدل فیزیک حرکت آب و رسوب، رشد گیاه، چرخه عناصر و جهت شبیه‌سازی به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود. ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) به طور گسترده برای مطالعات مقیاس حوضه آبریز در ارتباط با کیفیت و کمیت آب مورد استفاده قرار گرفته است.

SWAT یک مدل شبیه‌سازی پارامتر توزیعی فرایند محور است که با گام زمانی روزانه عمل می‌کند. این مدل حوضه آبریز را به زیرحوضه‌های آبریز تقسیم می‌کند که با هر کدام به عنوان یک واحد مجرد رفتار می‌کند. همچنین زیرحوضه‌ها به بخش‌های پاسخ هیدرولوژی^{۱۰} تقسیم می‌شوند که بخش‌هایی

میلادی از ایستگاه‌های منتخب منطقه می‌باشد. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدل SWAT عبارت‌اند از بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه که به صورت فایل اطلاعاتی^۱ به مدل معرفی شده است. سایر اطلاعات هواشناسی مورد نیاز عبارت‌اند از تابش، سرعت باد، رطوبت نسبی که در این تحقیق توسط مدل شبیه‌سازی شده‌اند. داده‌های بارندگی از آمار دو ایستگاه باران‌سنجی ماهی‌دشت و جلوگیره و دو ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و روانسر و دمای روزانه از آمار دو ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و روانسر به دست آمده است. همچنین برای مدل‌های IHACRE و SIMHYD برای متغیر دما داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه به دلیل داشتن داده‌های کاملتر و ارتفاعی برابر متوسط ارتفاع سایر ایستگاه‌ها به عنوان مبنا انتخاب گردید. برای متغیر بارش از میانگین منطقه‌ای داده‌های روزانه ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شد (جدول ۱). ایستگاه هیدرومتری قره‌باغستان تنها ایستگاه واقع در خروجی حوضه قره‌سو با داده‌های کامل به عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوضه انتخاب گردید.

معرفی مدل‌های هیدرولوژی

مدل‌های زیادی برای ارزیابی هیدرولوژی حوضه وجود دارند که توسط مدیران منابع آب، تصمیم‌گیرنده‌ها و محققان به کار می‌روند. این مدل‌ها کمک بزرگی در تخمین تأثیر بر رواناب از یک برنامه توسعه خاص ایجاد می‌کنند. مدل‌های پیوسته^۲ می‌توانند درک بهتری از پاسخ هیدرولوژی حوضه آبریز در اثر تغییر اقلیم و تغییر پوشش گیاهی ناشی از آن ایجاد کنند، زیرا پدیده تغییر اقلیم و تغییر در پوشش گیاهی یک پدیده تدریجی بوده و بنابراین، این تغییرات در مدل‌های پیوسته بهتر می‌تواند مورد شبیه‌سازی قرار گیرد.

مدل‌های حوضه آبی را می‌توان براساس نحوه مواجهه با مؤلفه‌های مکانی مربوط به هیدرولوژی حوضه به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود. مدل‌های یکپارچه^۳ که کل حوضه را بدون احتساب تغییرات مکانی در فرآیندها، ورودی، شرایط مرزی، یا ویژگی‌های هیدرولوژی حوضه، به عنوان یک واحد

4 - Distributed

5 - Physically-Based

6 - Distributed Parameter

7 - Land use Changes

8 - Management Practices

9 - Extension

10 - Hydrologic Response Unit

1 - dbf

2 - Continuous Models

3 - Lumped

مدل IHACRES

مدل بارش - رواناب IHACRES در سال ۱۹۹۳ ارائه شد (۱۱). این مدل یک مدل مفهومی^۵ و یکپارچه است. اساس این روش از دو مدول غیرخطی کاهش^۶ و مدول خطی هیدروگراف^۷ تشکیل می‌شود. به این منظور، در ابتدا بارندگی (r_k) و دما (t_k) در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی مؤثر u_k تبدیل شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (شکل ۳).

روابط به‌کار رفته در مدول غیرخطی کاهش به منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در حوضه به شرح زیر است (۱۱):

$$u_k = s_k * r_k \quad (2)$$

$$s_k = C \times r_k + \left(1 + \frac{1}{\tau_w(t_k)} \right) s_{k-1} \quad (3)$$

$$s_0 = 0$$

$$\tau_w(t_k) = \tau_w e^{0.062 f(R-t_k)} \quad (4)$$

$$\tau_w(t_k) > 1 \quad (4)$$

$$x_k = a^f x_{k-1} + b^g u_{k-1} + c^h x_{k-1} + d^s u_{k-1} \quad (5)$$

در این رابطه‌ها، s_k ضریب رطوبتی حوضه است که تابعی از تبخیر و تعرق در حوضه بوده و با رابطه‌های (۳) و (۴) بیان می‌گردد. در رابطه (۴)، $\tau_w(t_k)$ مقدار شاخص s_k را در رابطه (۳) در هنگامی که بارش رخ نمی‌دهد، کنترل می‌کند که در آن R دمای مرجع، τ_w ثابت زمانی خشک شدن حوضه^۸ و f فاکتور تعدیل دما^۹ است. در رابطه (۴) پارامتر C به گونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره واسنجی یکسان گردد. سپس بارندگی مؤثر توسط مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۵) به رواناب سطحی تبدیل خواهد شد. در رابطه (۵) پارامترهای q و s پارامترهای مربوط به تفکیک هیدروگراف حوضه به دو قسمت هیدروگراف سریع (q) و هیدروگراف کند (s) می‌باشند. به‌طورکلی، در این روش سه پارامتر τ_w ، f و C از

از زیرحوضه‌ها با پوشش‌ها، مدیریت و خصوصیات خاک می‌باشد. این مدل از روش عدد منحنی اصلاح شده^۱ یا روش نفوذ گرین - امپت^۲ جهت محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر پاسخ هیدرولوژی استفاده می‌کند. تقسیمات زیرحوضه‌ها برای حوضه قره‌سو در شکل (۲) نشان داده شده است.

مدل SWAT همچنین با پی‌کربندی مدل‌سازی USEPA برای منابع غیرنقطه‌ای و نقطه‌ای^۳ یکپارچه شده است. این چهارچوب برای کاربران یک ابزار توصیف حوضه آبریز ایجاد می‌کند که به کاربران این امکان را می‌دهد که به طور اتوماتیک حوضه آبریز را براساس مدل رقومی زمین^۴ توصیف کند. مدل SWAT نیاز دارد که برای حوضه مورد مطالعه جهت تضمین اینکه پارامترهای مدل نماینده‌ای برای ناحیه مطالعه هستند، واسنجی و اعتبارسنجی گردد. مدل SWAT در شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژی از معادله توازن هیدرولوژیک زیر استفاده می‌کند:

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

در این رابطه، ΔSW آب ذخیره شده در خاک، R_{day} بارش روزانه، Q_{surf} رواناب سطحی، E_a تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep} آبی که از پروفیل خاک به منطقه غیراشباع وارد می‌شود و Q_{gw} جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه برحسب میلی‌متر می‌باشد (۱۸).

این مدل به دلیل پیچیدگی، توزیعی بودن و لحاظ کردن اکثر عوامل مؤثر در فرایند بارش - رواناب دارای پارامترهای متعددی است که تعدادی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی عبارتند از:

- ۱ - پارامترهای مهم در شبیه‌سازی فرایند ذوب برف
- ۲ - پارامترهای مهم در مشخصات رودخانه‌ها
- ۳ - پارامترهای مؤثر در تعیین رواناب سطحی
- ۴ - پارامترهای به کار رفته جهت تعریف و شناسایی وضعیت واحدهای هیدرولوژی
- ۵ - پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی

5 - Conceptual

6 - Non-linear loss module

7 - Linear unit hydrograph module

8 - Catchment drying time constant

9 - Temperature modulation factor

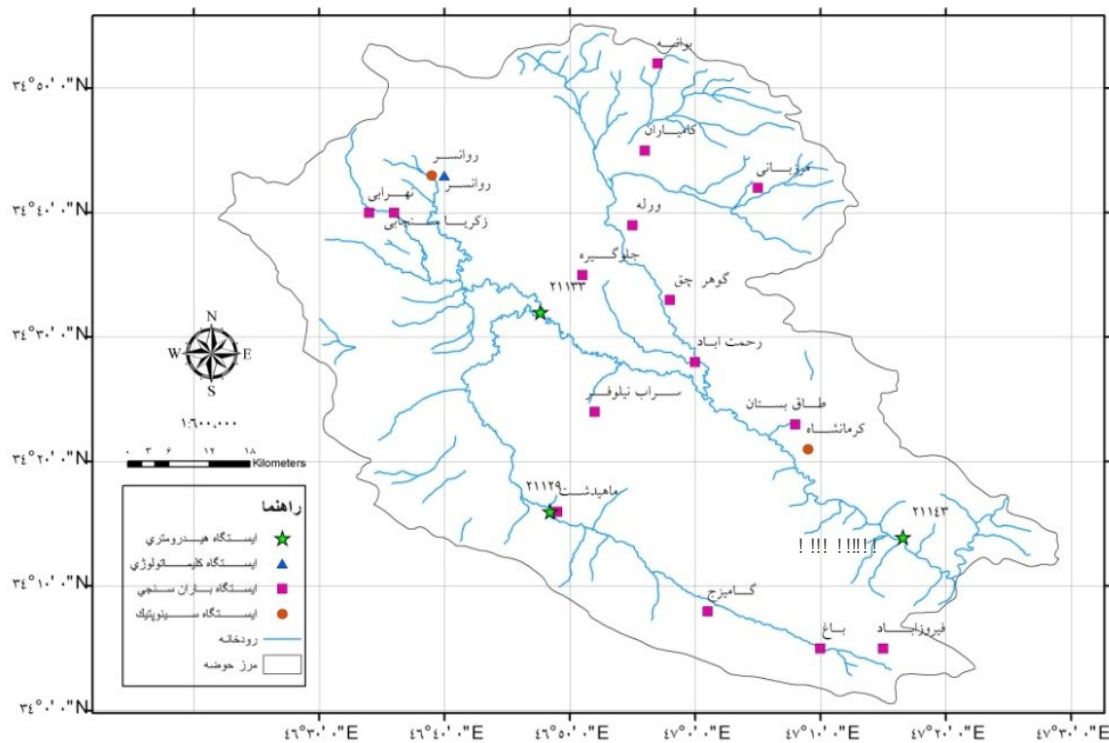
1 - Soil Conservation Service

2 - Green and Ampt

3 - BASINS

4 - DEM

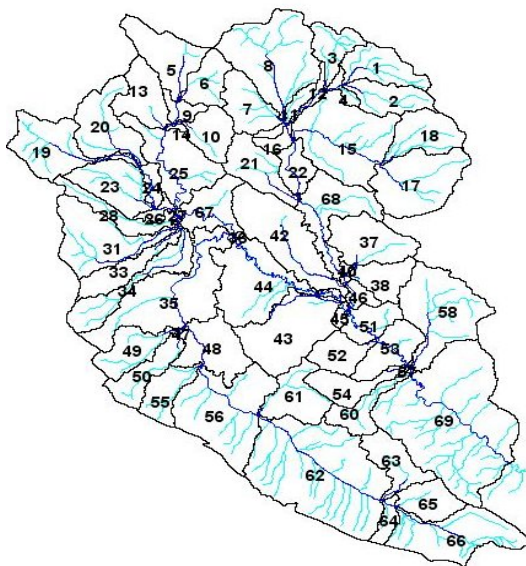
مدول غیرخطی کاهش (رابطه‌های ۲، ۳ و ۴) و سه پارامتر از چهار پارامتر α^a ، α^b و b^a از مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۵) می‌بایست براساس داده‌های مشاهداتی برای حوضه مورد مطالعه کالیبره گردند.



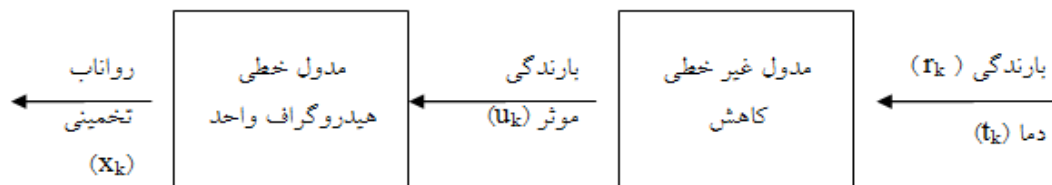
شکل ۱ - نقشه حوضه قره‌سو و ایستگاه‌های منتخب

جدول ۱ - نام و نوع ایستگاه‌ها در محدوده حوضه قره‌سو

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
بوانه	باران سنجی	۴۶-۵۸	۳۴-۵۲	۱۸۵۰
بان سعید	باران سنجی	۴۷-۰۷	۳۴-۵۶	۱۵۰۰
دهستان	باران سنجی	۴۷-۱۴	۳۴-۴۳	۱۶۸۰
جلوگیره	باران سنجی	۴۶-۵۱	۳۴-۳۵	۱۳۸۰
کرمانشاه	باران سنجی	۴۷-۰۹	۳۴-۲۱	۱۳۱۸
هرسین	باران سنجی	۴۷-۳۴	۳۴-۱۶	۱۵۵۰
گوهر چغا	باران سنجی	۴۷-۰۰	۳۴-۳۳	۱۴۰۰
ماهی دشت	باران سنجی	۴۶-۴۸	۳۴-۱۶	۱۳۵۰
حسن آباد	باران سنجی	۴۶-۳۹	۳۴-۱۰	۱۵۰۰
دهراشه	باران سنجی	۴۶-۲۲	۳۴-۴۱	۱۵۰۰
روانسر	باران سنجی	۴۶-۴۰	۳۴-۴۳	۱۴۰۰
کرمانشاه	سینوپتیک	۴۷-۰۹	۳۴-۲۱	۱۳۱۸
روانسر	سینوپتیک	۴۳-۳۴	۳۹-۴۶	۱۳۷۹
قره‌باغستان	هیدرومتری	۴۷-۱۵	۳۴-۱۴	۱۲۸۰



شکل ۲ - تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه قره‌سو با استفاده از مدل SWAT



شکل ۳ - چگونگی شبیه‌سازی بارش - رواناب همراه با مدل‌های خطی و غیرخطی در روش ارائه شده توسط جکمن و هورنبرگر (۱۱)

ذخیره رطوبت خاک می‌باشند. این پارامترها به وسیله معادلات مختلفی به یکدیگر مربوط می‌شوند و از طریق واسنجی به دست می‌آیند که روابط ساده شده آنها در صفحه بعد ارائه شده است (رابطه‌های ۶ تا ۱۸). شکل (۴) ساختار این مدل بارش - رواناب را نشان می‌دهد.

در مدل SIMHYD از آمار روزانه بارش میانگین حوضه، رواناب مشاهداتی ایستگاه قره‌باغستان و تبخیر تعرق پتانسیل به دست آمده از معادله هارگریوز - سامانی، برای شبیه‌سازی استفاده شد. روابط استفاده شده در این مدل به شرح ذیل می‌باشند:

مدل SIMHYD

مدل SIMHYD یک مدل مفهومی^۱ و یکپارچه بارش - رواناب است که جریان روزانه را با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر تعرق پتانسیل روزانه شبیه‌سازی می‌کند. SIMHYD نسخه ساده شده مدل مفهومی بارش - رواناب HYDROLOG در سال ۱۹۷۲ و MODHYDROLOG در سال ۱۹۹۱ است (۵). در مدل SIMHYD از هفت پارامتر استفاده می‌شود که شامل ضریب جریان پایه، ضریب نفوذ، ضریب رواناب سطحی، کسر نفوذ، ظرفیت ذخیره قطع بارش، ضریب تغذیه و ظرفیت

$$E = 1 - \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Q_{obs_t} - Q_{sim_t})^2}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Q_{obs_t} - \overline{Q_{obs}})^2} \right]$$

(۱۹)

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Q_{obs_t} - \overline{Q_{obs}})(Q_{sim_t} - \overline{Q_{sim}})}{\sigma_{obs} \times \sigma_{sim}} \right]^2$$

(۲۰)

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_{obs_t} - Q_{sim_t})^2}$$

(۲۱)

در این رابطه‌ها، $\overline{Q_{obs}}$ و $\overline{Q_{sim}}$ به ترتیب متوسط دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی برحسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

بحث و نتایج

شبیه‌سازی بارش - رواناب توسط SWAT

داده‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی توسط مدل SWAT عبارت‌اند از توپوگرافی، آب و هوا، پوشش گیاهی، خاک و داده‌های مدیریتی. اطلاعات توپوگرافی به صورت مدل ارتفاع رقومی، این لایه باید به صورت رستر و سیستم مختصات جغرافیایی مشخص به مدل وارد شود. مدل با درنظر گرفتن این رقم ارتفاعی قادر به تعیین محل آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و حوضه آبریز هر کدام از آنها با دقت دلخواه می‌باشد. بدین ترتیب که با وارد کردن مقدار 'حداقل مساحت دلخواه'، منطقه مورد نظر به زیرحوضه‌های کوچکتر تقسیم می‌گردد، به طوری که مساحت هیچ یک از زیرحوضه‌ها از مقدار حداقل تعیین شده توسط کاربر، کمتر نشود. نقشه کاربری اراضی و خاک به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (اندازه پیکسل‌ها ۵۰ × ۵۰ متر) از مؤسسه حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی تهیه گردیده است. نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردیده است. این اطلاعات بعد از پردازش در محیط GIS به صورت فایل‌های رستری^۳ در مدل SWAT مورد استفاده در مدل قرار گرفتند.

PET = a real potential evapotranspiration (input data) (۶)

IMAX = lesser of {INSC, PET} (۷)

INT = lesser of {IMAX, RA.IN} (۸)

INR = RAIN - INT (۹)

RMO = lesser of {COEFF exp (-SQ × SMS/SMSC), INR} (۱۰)

IRUN = INR - RMO (۱۱)

SRUN = SUB × SMS/SMSC × RMO (۱۲)

REC = CRAK × SMS/SMSC × (RMO - SRUN) (۱۳)

SMF = RMO - SRUN - REC (۱۴)

POT = PET - INT (۱۵)

ET = lesser of {10 × SMS/SMSC, POT} (۱۶)

BAS = K × GW (۱۷)

RUNOFF = IRUN + SRUN + BAS (۱۸)

در این رابطه‌ها، PET تبخیر و تعرق پتانسیل واقعی،

INSC ظرفیت ذخیره قطع بارش برحسب میلی‌متر،

COEFF حداکثر ضریب نفوذ برحسب میلی‌متر، SQ کسر نفوذ،

SMSC ظرفیت ذخیره رطوبت خاک برحسب میلی‌متر، SUB ضریب

تغذیه، CRAK ضریب رواناب سطحی و K ضریب جریان پایه

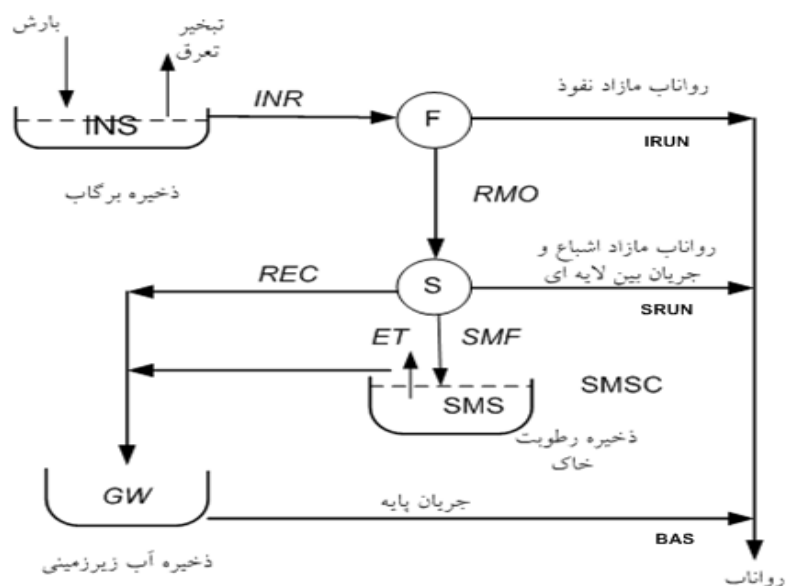
می‌باشد.

معیارهای واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌ها

تعدادی از پارامترهای این سه مدل هیدرولوژی را نمی‌توان به طور مستقیم از طریق اندازه‌گیری و تخمین مشخصات حوضه به دست آورد. به همین دلیل، برای برآورد این پارامترها مدل مورد واسنجی قرار می‌گیرد. توابع هدف زیادی برای واسنجی مدل می‌توان استفاده کرد که در این تحقیق جهت مقایسه عملکرد مدل‌های هیدرولوژی و انتخاب دوره‌های سنجش از معیارهای ضریب نش^۱ (E) و ضریب تعیین^۲ (R²) استفاده شد. این ضرایب بی‌بعد برای اندازه‌گیری درجه وابستگی بین مقدار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. هرچه عدد E و R² به مقدار عدد یک نزدیک‌تر باشند، دبی‌های شبیه‌سازی شده دقت مطلوب‌تری خواهند داشت.

1 - Coefficient of Nash

2 - Coefficient of Determination



شکل ۴ - ساختار مدل SIMHYD در شبیه‌سازی روزانه بارش - رواناب

شکل (۵) و جدول (۵) وضعیت عملکرد مدل SWAT را در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد که با ضریب نش ۰/۸ در دوره واسنجی و ۰/۷۳ در دوره صحت‌سنجی به خوبی توانسته است الگوی تغییرات رواناب منطقه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کند. شکل (۸) نشان می‌دهد مدل مقادیر دبی حداکثر را به خوبی برآورد کرده است.

شبیه‌سازی بارش - رواناب IHACRES

مقادیر پارامترهای واسنجی شده مدل IHACRES که به صورت سعی و خطا انجام شده است در جدول (۳) آمده است. شکل (۶) و جدول (۵) وضعیت عملکرد مدل IHACRES را در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل IHACRES با ضریب نش ۰/۷۰ در دوره واسنجی و ۰/۴۷ در دوره صحت‌سنجی، دارای توانایی لازم برای شبیه‌سازی‌های مقادیر ماهانه دبی حوضه قره‌سو است. باید توجه داشت که براساس نتایج شکل (۹) مدل توانایی کمتری در شبیه‌سازی دبی‌های حداکثر دارد، به طوری که مدل دبی‌های بیشتری را نسبت به دبی‌های حداکثر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است.

واسنجی اتوماتیک مدل^۱ نیاز به تغییر سیستماتیک پارامترهای غیرقطعی^۲ و بعد از شبیه‌سازی مدل نیاز به داده‌های مشاهداتی خروجی مرتبط با داده‌های محاسباتی دارد. SWAT-CUP یک برنامه بهینه‌ساز ارتباط‌دهنده می‌باشد که برای مدل SWAT توسعه داده شده است که با استفاده از آن واسنجی و تحلیل عدم قطعیت‌های مدل SWAT به راحتی انجام‌پذیر است (۳).

پارامترهای متعددی جهت واسنجی مدل با توجه به مطالعات دیگران با استفاده از این مدل و پارامترهایی که بهینه‌ساز SWAT-CUP نشان از حساس‌تر بودن مدل به این پارامترها داشت، انتخاب شده است (جدول ۲). این پارامترها با توجه به واسنجی جریان رودخانه با استفاده از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری قره باغستان تنظیم گردیده و با توجه به تحقیقات قبلی در زمینه کالیبراسیون مدل SWAT انتخاب شده‌اند (۲). جدول (۲) مقدار به دست آمده برای پارامترهای بهینه شده در مرحله واسنجی را نشان می‌دهد.

1 - Automated model calibration

2 - Uncertain

جدول ۲ - مقدار نهایی پارامترهای به کار رفته در مدل سازی

مقدار نهایی	محدوده تغییرات	تعریف پارامتر	پارامتر
۲/۳۷۵	t ₅	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (°C)	SMTMP
۴/۶۱۵	۰-۱۰	نرخ ذوب برف در ۲۱ دسامبر (mmH ₂ O/°C- day)	SMFMN
۰/۶۴۱۸	۰/۰۱-۱	فاکتور تبخیر آب از خاک	ESCO
۰/۰۱۵۴۲	۰-۱	ضریب آلفای آب زیرزمینی	ALPHA-BF
۰/۱۷۷۲	۰/۰۲-۰/۲	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق یا صعود موئینگی از سفره آب کم عمق	GW-REVAP
۰/۱۲۲۵	۰-۱	آب موجود در لایه اولیه خاک	SOL_AWC(1)
-۰/۲۲	۲۰-۹۰	عدد CN	CN2
۳/۲۶۲۵	۰-۱۵۰	هدایت هیدرولیکی مؤثر در کانال اصلی	CH_K2
۱۰۵/۸۷۵	۰-۵۰۰	حداقل ذخیره آب زیرزمینی برای رخ دادن REVAP (mmH ₂ O)	REVAPMN

جدول ۳ - مقادیر پارامترهای واسنجی شده در مدل IHACRES

f	τ_w	aq	bq	as	bs	C
۱/۷	۱۰	-۱۹/۹	۱/۱	۰/۹۷	۱/۵	۰/۰۰۳

جدول ۴ - مقادیر پارامترهای واسنجی شده در مدل SIMHYD

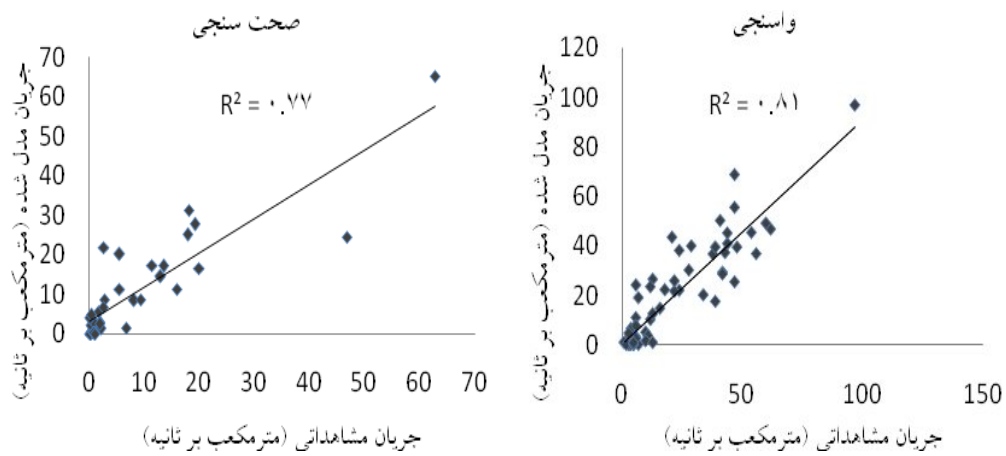
کسر نفوذ	ضریب جریان پایه	ضریب نفوذ	ضریب رواناب سطحی	ظرفیت ذخیره قطع بارش	ضریب تغذیه	ظرفیت ذخیره رطوبت خاک
۰/۹۹	۰/۰۲۴	۳۹۶	۰/۰۰۲	۰	۱	۳۱۸/۵۲

مقایسه مدل‌ها در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

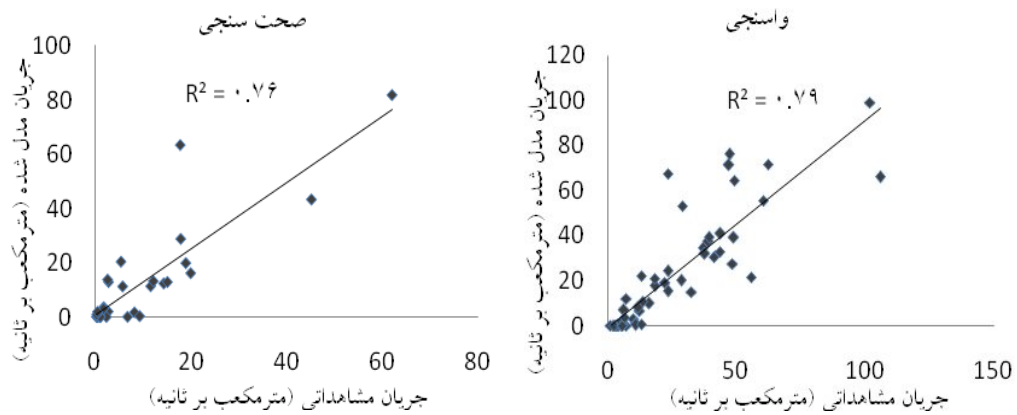
در شبیه‌سازی بارش - رواناب حوضه قره‌سو برای هر سه مدل بارش - رواناب در دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱)، بهترین دوره واسنجی و صحت‌سنجی برای به حداقل رساندن خطای شبیه‌سازی انتخاب شدند. این انتخاب در هر سه مدل براساس بالاترین ضریب نش و ضریب تعیین (R^2) بین رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده صورت گرفت. بر این اساس دوره (۱۹۹۲/۱/۱-۱۹۹۶/۱۲/۳۱) برای واسنجی و دوره (۱۹۹۸/۱/۱-۲۰۰۰/۱۲/۳۱) برای صحت‌سنجی شبیه‌سازی‌ها انتخاب شدند. شکل‌های (۵) تا (۹) وضعیت عملکرد مدل‌های بارش - رواناب را نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی بارش - رواناب SIMHYD

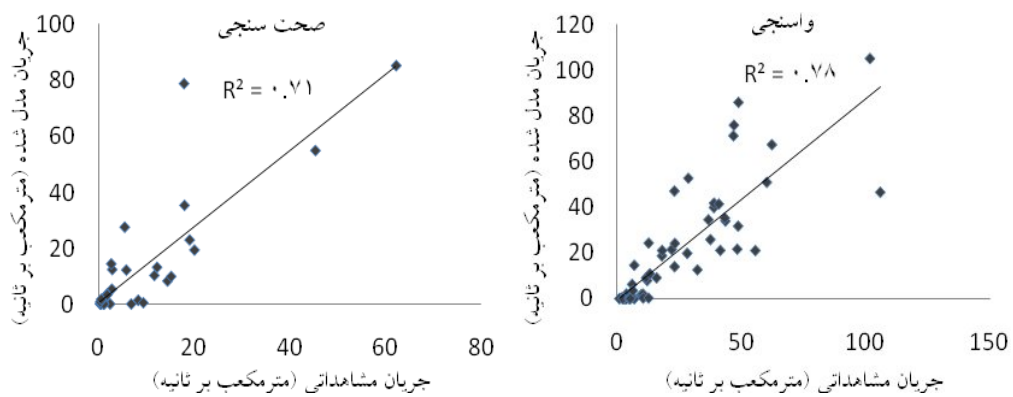
مقادیر پارامترهای واسنجی شده مدل SIMHYD که به صورت سعی و خطا انجام شده است، در جدول (۴) آورده شده است. شکل (۷) و جدول (۵) عملکرد مدل SIMHYD را در شبیه‌سازی رواناب منطقه نشان می‌دهد. باتوجه به نتایج عملکرد مدل SIMHYD، این مدل با ضرایب نش ۰/۶۸ و ۰/۴ به ترتیب برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی الگوی تغییرات رواناب حوضه را شبیه‌سازی کرده است. شکل (۹) نشان می‌دهد این مدل همانند مدل IHACRES توانایی پایینی در برآورد مقادیر دبی‌های حداکثر حوضه دارد و مقادیر بیشتری را برای این دبی‌ها شبیه‌سازی کرده است که منجر به پایین آمدن ضریب نش در دوره صحت‌سنجی شده است.



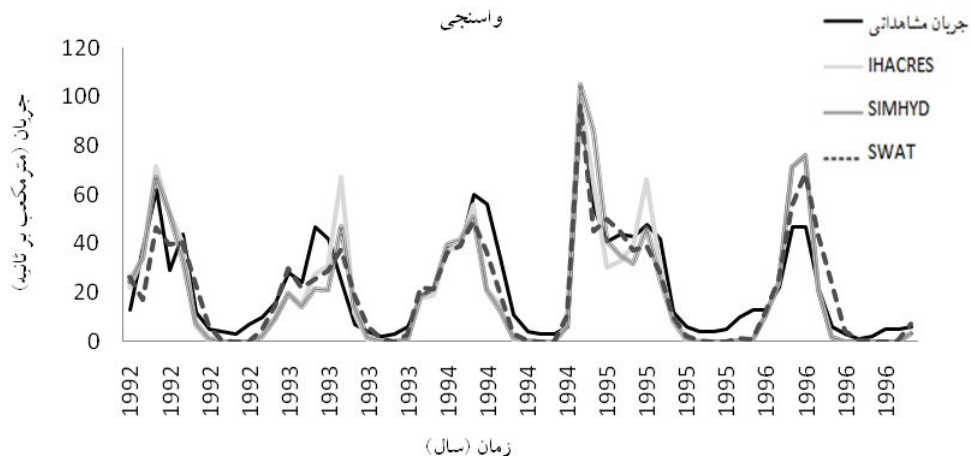
شکل ۵ - نمودار پراکنندگی عملکرد مدل SWAT در دوره واسنجی و صحت‌سنجی



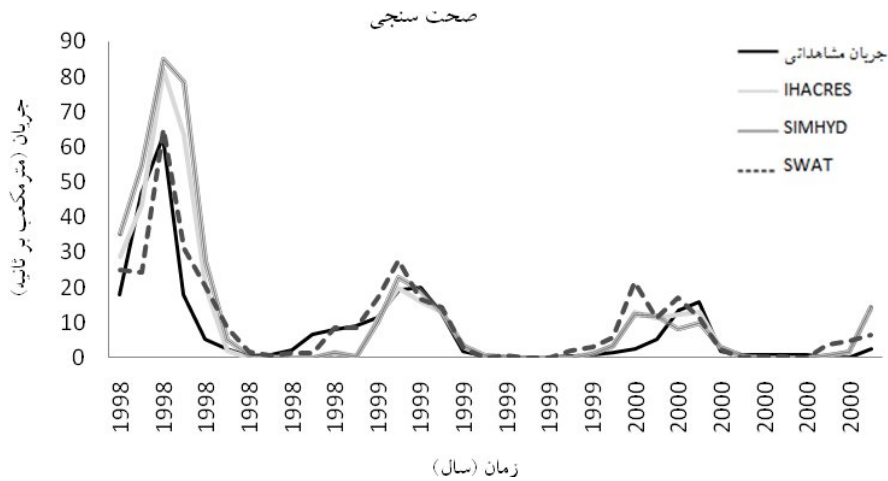
شکل ۶ - نمودار پراکنندگی عملکرد مدل IHACRES در دوره واسنجی و صحت‌سنجی



شکل ۷ - نمودار پراکنندگی عملکرد مدل SIMHYD در دوره واسنجی و صحت‌سنجی



شکل ۸ - سری زمانی رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل‌های هیدرولوژی در دوره واسنجی



شکل ۹ - سری زمانی رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل‌های هیدرولوژی در دوره صحت‌سنجی

جدول ۵ - مقایسه ماهانه شاخص‌های عملکرد سه مدل هیدرولوژی در دو دوره شبیه‌سازی

VAR _{est}	VAR _{obs}	SKEW _{est}	SKEW _{obs}	Q _{est}	Q _{obs}	RMSE	R ²	E	
واسنجی ۹۶-۱۹۹۲									
۴۳۴	۴۳۲	۱/۱۲	۱/۱۶	۲۰/۶۳	۲۲/۱	۱/۲	۰/۸۱	۰/۸۰	SWAT
۶۱۶	۴۳۲	۱/۲۹	۱/۱۶	۲۰/۲۱	۲۲/۱	۱/۴۸	۰/۷۹	۰/۷۰	IHACRES
۶۰۸	۴۳۲	۱/۵۲	۱/۱۶	۱۹/۷۳	۲۲/۱	۱/۵	۰/۷۸	۰/۶۸	SIMHYD
صحت‌سنجی ۲۰۰۰-۱۹۹۸									
۱۷۲	۱۷۴	۲/۳۶	۲/۸۴	۱۰/۱۷	۸/۳	۱/۱۰	۰/۷۷	۰/۷۳	SWAT
۳۳۱	۱۷۴	۲/۶۶	۲/۸۴	۱۰/۵۳	۸/۳	۱/۵۸	۰/۷۶	۰/۴۷	IHACRES
۴۳۵	۱۷۴	۲/۵۲	۲/۸۴	۱۱/۸۷	۸/۳	۲/۰۰	۰/۷۱	۰/۴۰	SIMHYD

متوسط مقادیر پیش‌بینی شده بیشتر از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی شدند. در این میان متوسط مقدار جریان پیش‌بینی شده توسط مدل SWAT به متوسط مقدار مشاهداتی در هر دو دوره نزدیک‌تر می‌باشد. هرچند تطبیق معقولی از الگوی تغییرات رواناب بین جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در نمودارها مشاهده می‌شود، مدل SWAT در برآورد جریان‌های حداکثر قوی‌تر و مدل SIMHYD ضعیف‌تر عمل کرده‌اند. مدل بارش - رواناب IHACRES نیز که کاربری آسان‌تری نسبت به دو مدل دیگر دارد، در مجموع شبیه‌سازی متوسط و نزدیک‌تری به مدل SWAT دارد. نتایج این بخش با تحقیقی که نشان داده برآورد رواناب پیش‌بینی شده توسط مدل IHACRES بهتر از مدل SIMHYD می‌باشد، هم‌خوانی داشت و با تحقیقاتی که بیانگر این مطلب بودند که شبیه‌سازی جریان توسط مدل IHACRES بهتر از مدل‌های توزیعی می‌باشد، در تضاد بود (۱، ۱۷ و ۳۱).

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان روزانه حوضه قره‌سو مناسب‌تر می‌باشد و پیشنهاد می‌شود در مطالعات هیدرولوژی این حوضه به کار رود. نتایج این تحقیق با دیگر تحقیقات که بیان داشتند علی‌رغم سخت‌تر بودن مدل‌های توزیعی نسبت به مدل‌های توده‌ای با توجه به لحاظ نمودن شرایط واقعی‌تر فرایندها و حوضه جواب‌های بهتری می‌دهند، مطابقت داشت (۸ و ۲۲). در عین حال، استفاده از دو مدل دیگر بستگی به نوع مطالعه و دقت مورد نظر دارد که می‌توان از آنها به دلیل کاربری آسان، ورودی‌های محدودتر و کاهش صرف زمان باتوجه به سطح دقت نشان داده شده آنها در این مطالعه، استفاده کرد. همچنین باید توجه داشت که کاربرد مدل‌های مختلف بارش - رواناب در حوضه‌های با اقلیم متفاوت و مقایسه عملکرد آنها، می‌تواند در تعیین مناسب‌ترین مدل تأثیرگذار باشد که می‌بایست طی تحقیق‌های دیگر مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. کمال‌ع. ر. و مساح بوانی‌ع. ر (۱۳۸۹) تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی. آب و خاک. ۲۴(۵): ۹۳۱-۹۲۰.

در جدول (۵) معیارهای عملکرد شامل ضریب تعیین (R^2)، ضریب نش (E)، میانگین جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (Q_{obs})، واریانس جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (VAR_{obs}) و ضریب چولگی جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ($SKEW_{obs}$) مقایسه گردیده‌اند. براساس مقایسه شکل‌های (۵) تا (۹) و شاخص‌های عملکرد در جدول (۵)، هر سه مدل در دوره مشترک شبیه‌سازی، نتایج قابل قبولی دارند. هرچند مدل SWAT با بالاترین ضریب نش در دوره واسنجی و صحت‌سنجی، نتیجه مطلوب‌تری در شبیه‌سازی رواناب به همراه خواهد داشت. همچنین مدل SIMHYD نتایج ضعیف‌تری در شبیه‌سازی‌ها نسبت به دو مدل دیگر دارد (شکل‌های ۸ و ۹). مدل SWAT به دلیل پیچیدگی، توزیعی بودن و لحاظ کردن اکثر عوامل مؤثر در فرایند بارش - رواناب دارای پارامترهای متعددی است. بنابراین، آماده‌سازی آن احتیاج به صرف زمان طولانی‌تری دارد، اما علی‌رغم صرف زمان طولانی، به علت لحاظ نمودن شرایط واقعی‌تر حوضه، کارایی بیشتری در شبیه‌سازی فرایندهای حوضه دارد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به دامنه متنوع مدل‌های هیدرولوژی در دسترس، انتخاب مناسب‌ترین مدل برای هر کار مخصوصی به دلیل افزایش بهره‌وری دشوار است. بنابراین، نیاز به ارزیابی مقایسه‌ای برای تشخیص قابلیت و محدودیت مدل‌های حوضه در منطقه مطالعاتی دارد. در این مقاله، از سه مدل بارش - رواناب در مقیاس روزانه استفاده شد که در این میان SWAT مدلی توزیعی با ورودی‌های متنوع بود، درحالی‌که مدل‌های IHACRES و SIMHYD مدل‌هایی مفهومی با ورودی‌هایی محدودتر از SWAT هستند. براساس شاخص‌های آماری و نموداری به کار رفته در این مطالعه، هر سه مدل در دوره واسنجی شبیه‌سازی قابل قبولی از رواناب حوضه قره‌سو داشتند (ضریب نش بالای ۰/۶ و ضریب تعیین بالای ۰/۷)، همچنین مدل SWAT بهترین عملکرد را از شبیه‌سازی رواناب حوضه نسبت به داده‌های مشاهداتی در دوره صحت‌یابی داشت (ضریب نش و تعیین بالای ۰/۷). در دوره واسنجی هر سه مدل جریان کمتری نسبت به مقادیر مشاهداتی پیش‌بینی کردند. همچنین در دوره صحت‌یابی

- 2 . Abbaspour KC (2008) SWAT-CUP2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 95 p.
- 3 . Abbaspour KC and Yang J (2006) A calibration and uncertainty analysis program for SWAT. Swiss Federal Institute of Aquatic Scientific and Technology.
- 4 . Boorman DB and Sefton CE (1997) Recognizing the uncertainty in the quantification of the effects of climate change on hydrological response. *Climatic Change*. 35(4): 415-434.
- 5 . Chiew FHS, Peel MC and Western AW (2002) Application and testing of the simple rainfall-runoff model SIMHYD, In: *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications* (Editors: V.P. Singh and D.K. Frevert). Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA. Pp. 335-367.
- 6 . Clausen B and Biggs BJF (2000) Flow Variables for Ecological Studies in Temperate Streams: Groupings Based on Covariance. *Hydrology*. 237: 184- 197.
- 7 . Croke BFW and Jakeman AJ (2008) Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi arid regions. In: Wheater, H.S., Sorooshian, S., Sharma, K.D. (Eds.), *Hydrological Modelling in Arid and Semi-arid Areas*. Cambridge University Press, Cambridge. Pp. 41-48.
- 8 . Ghavidelfar S, Alvankar R and Razmkhah (2011) A Comparison of the Lumped and Quasi-distributed Clark Runoff Models in Simulating Flood Hydrographs on a Semi-arid Watershed. *Water Resource Management*. 25: 1775-1790. DOI 10.1007/s11269-011-9774-5.
- 9 . Haydon S and Deletic A (2007) Sensitivity testing of a coupled Escherichia coli – Hydrologic catchment model. *Hydrology*. 338: 161-173.
- 10 . Jackson CR, Burges SJ, Liang X, Leytham KM, Whiting KR, Hartley DM, Crawford CW, Johnson BN and Horner RR (2001) Development and Application of Simplified Continuous Hydrologic Modeling for Drainage Design and Analysis, In: *Land Use and Watersheds: Human Influences on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas*, Wigmosta MS and BurgesSJ. 39-58, American Geophysical Union, Washington DC.
- 11 . Jakeman AJ and Hornberger GM (1993) How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?. *Water Resources Research*. 29(8): 2637-2649.
- 12 . Jones RN, Chiew HS, Boughton WC and Zhang L (2006) Estimating the sensitivity of mean annual runoff to climate change using selected hydrological models. *Advances in Water Resources*. 29: 1419-1429.
- 13 . Jothityangkoon C, Sivapalan M and Farmer DL (2001) Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: downward approach to hydrological model development. *Hydrology*. 254: 174-198.
- 14 . Letcher RA, Jakeman AJ, Calfas M, Linforth S, Baginska B and Lawrence I (2002) A Comparison of Catchment Water Quality Models and Direct Estimation Techniques. *Environmental Modelling and Software*. 17: 77-85.
- 15 . Letcher RA, Reed M and Cuddy S (2000) An Integrated Catchment Management System: a Socio-Economic Approach to Water Allocation in the Namoi, Proceedings of the Hydro 2000, 3rd International Hydrology and Water Resources Symposium of The Institution of Engineers, Perth.
- 16 . Li ZJ and Zhang K (2008) Comparison of Three GIS-Based Hydrological Models. *Hydrology Engineering*. 13: 364.

- 17 . Littlewood IG and Jakeman AJ (1994) A New Method of Rainfall-Runoff Modelling and its Applications in Catchment Hydrology. *Environmental Modelling*. 2: 142-171.
- 18 . Mengistu KT (2009) Watershed hydrological responses to changes in land use and land cover, and management practises at Hare Watershed, Ethiopia.
- 19 . Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR and King KW (2002) SWAT Manual. USDA, Agricultural Research Service and Blackland Research Centre: Texas A&M University, USA.
- 20 . Peel MC, Chiew FHS, Western AW and McMahon TA (2000) Extension of Unimpaired Monthly Streamflow Data and Regionalisation of Parameter Values to Estimate Streamflow in Ungauged Catchments, Report prepared for the National Land and Water Resources Audit, In Australian Natural Resources Atlas. 37 p.
- 21 . Post DA and Jakeman AJ (1998) Using a Lumped Conceptual Rainfall-Runoff Model to Predict the Hydrologic Impact of Forestry Treatments. *Proceedings of the Canadian Water Resources Association 51st Conference*, Victoria, Canada.
- 22 . Te Linde AH, Aerts JC, Hurkmans RT and Eberle M (2008) Comparing model performance of two rainfall-runoff models in the Rhine basin using different atmospheric forcing data sets, *Hydrology and Earth System Sciences*. 12: 943-957, doi:10.5194/hess-12-943-2008, 2008.
- 23 . Schreider SY, Smith DI and Jakeman AJ (2000) Climate Change Impacts on Urban Flooding. *Climatic Change*. 47: 91-115.
- 24 . Shimelis GS, Srinivasan R, Assefa MM and Dargahi B (2010) SWAT model application and prediction uncertainty analysis in the Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrology Process*. 24: 357-367.
- 25 . Singh VP (1995) *Computer Models of Watershed Hydrology* (1st Edition), 1-22. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications.
- 26 . Staudinger M, Stahl K, Seibert J, Clark MP and Tallaksen LM (2011) Comparison of hydrological model structures based on recession and low flow simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15: 3447-3459.
- 27 . Verbeeten E and Barendregt A (2007) The Impacts Of Climate Change On Hydrological Services Provided By Dry Forest Ecosystems In West Africa, 4th International SWAT Conference.
- 28 . Viney NR, Vaze J, Chiew FHS, Perraud J, Post DA and Teng J (2009) Comparison of multi-model and multi-donor ensembles for regionalisation of runoff generation using five lumped rainfall-runoff models. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia.
- 29 . Wagener T, Boyle DP, Lees MJ, Wheater HS, Gupta HV and Sorooshian S (2001) A framework for development and application of hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences*. 5(1): 13-26.
- 30 . Wood EF, Sivapalan M, Beven K and Band L (1988) Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling. *Hydrology*. 102: 29-47.
- 31 . Ye W, Bates BC, Viney NR, Sivapalan M and Jakeman AJ (1997) Performance of Conceptual Rainfall-Runoff Models in Low-Yielding Ephemeral Catchments. *Water Resources Research*. 33(1): 153-166.

Performance comparison of three hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD for the runoff simulation of Gharesou basin

M. R. Goodarzi ^{1*}, B. Zahabiyoun ², A. R. Massah Bavani ³ and A. R. Kamal ⁴

(E-mail: goodarzi@iust.ac.ir)

Abstract

Nowadays protecting land cover, quality and quantity of water resources are important. Surface runoff is one of most important reasons of soil erosion which causes sediment in reservoirs and reduction of land's fertility and also quality reduction water of rivers. So the main issue is exact prediction of basin runoff to raining events. The hydrologic models are simplified models of real hydrologic system that helps us with studying surface runoff of basin in reaction to different entries and also better understanding of hydrologic processes. According to variety of accessible rainfall-runoff models choosing an appropriate rainfall-runoff model for a basin can be important of order of efficiency, planning and water resources management. Therefore choosing a model needs recognition capability and limitations of basin models. So in this paper the efficiency of three SWAT, IHACRES and SIMHYD rainfall-runoff models will be evaluated and compared. Some criteria of evaluation in this study are Nash coefficient, coefficient of determination (R^2) and Root Mean Square Error (RMSE). Joint periods of simulation in these three models are chosen in a 30 year period. The simulation shows that SWAT with 0.8 Nash coefficient and SIMHYD with 0.68 have the highest and lowest efficiency in calibration period. These amounts are 0.73 and 0.4 for validation period. The results show that SWAT model has the best efficiency in runoff simulation according to observation data during the validation period.

Keywords: Gharesou basin, IHACRES, Rainfall-Runoff model, SIMHYD, SWAT

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran - Iran

(Corresponding Author *)

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran - Iran

3 - Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht - Iran

4 - M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht - Iran