برآورد بیلان آبی در حوضه‌های منتهی به خلیج‌فارس با استفاده از مدل نیمه‌توزیعی SWAT

مجید حسینی، محمد غفوری، زینب مکاریان و محمود رضا طباطبایی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۱۰)
DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.183

چکیده

در چند دهه اخیر مدل‌سازی پیوسته و فیزیکی از جایگاه خوبی در برآورد بیلان آبی در جهان برخوردار شده‌اند و به‌عنوان ابزار کارآمدی در برنامه‌ریزی و پیشگیری از مواجهه با بحران آب مطرح هستند. علاوه بر آن، این‌گونه مدل‌های هیدرولوژیک قابلیت بررسی و مطالعه اثرات عملیات آبخیزداری برروی مؤلفه‌های جریان در حال و آینده را نیز دارا بوده و ابزار مناسبی برای بهینه‌سازی این عملیات به‌شمار می‌رود. در این پژوهش، به‌منظور برآورد جریان زیرزمینی، از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) در حوضه‌های منتخب ۶ استان جنوب غرب کشور شامل استان‌های ایلام (حوضه گل‌گل)، بوشهر (حوضه باغان)، خوزستان (حوضه مرغاب)، فارس (حوضه شکستیان)، کهگیلویه و بویراحمد (حوضه تنگ بریم) و استان هرمزگان (حوضه درآگاه) محاسبه گردید. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل اطلاعات مورد نیاز شامل داده‌های هیدروکلیماتولوژی، نقشه خاک و خصوصیات آن، نقشه کاربری اراضی و نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) به‌عنوان داده‌های لازم آماده و پس از اصلاحات اولیه به مدل داده شد. برای واسنجی دقیق، تحلیل عدم قطعیت و اعتبارسنجی مدل برای حوضه‌های مذکور، از نرم‌افزار SWAT- CUP و برنامه SUFI-۲ استفاده شد. به‌منظور ارزیابی مدل معیارهای P فاکتور و R فاکتور (معیارهای ارزیابی در برنامه SUFI-۲) و شاخص‌هایی نظیر ضریب تبیین (R^2) و نش- ساتکلیف (NS) استفاده شد. شاخص نش- ساتکلیف در حوضه‌های شش‌گانه در دوره واسنجی به‌ترتیب معادل ۰/۶۶، ۰/۷۳، ۰/۴۰، ۰/۳۲، ۰/۵۳ و ۰/۷۸ و در دوره اعتبارسنجی معادل ۰/۴۹، ۰/۴۸، ۰/۴۲، ۰/۴۵، ۰/۴۶ و ۰/۶۲ بود. به‌جز حوزه شکستیان استان فارس، نتایج حاکی از کارآیی قابل قبول و مطلوب مدل در برآورد بیلان در حوضه‌های مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: بیلان آبی، حوضه‌های جنوب، خلیج فارس، SWAT

۱ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mjhossaini@gmai.com

مقدمه

محدودیت منابع آب و افزایش نیاز به آب که ناشی از افزایش جمعیت، توسعه شهرها، استفاده بی‌رویه و غیراصولی منابع می‌باشد مشکلات و اختلافات روزافزونی در خصوص مدیریت منابع آب را به‌همراه دارد. به‌منظور جلوگیری از چنین مشکلاتی شناخت مؤلفه‌های بیلان آبی از جمله راه حل‌های مناسب می‌باشد. در این میان استفاده از مدل‌های فیزیکی و نیمه توزیعی در برآورد مؤلفه‌های جریان و بیلان هیدرولوژیکی بسیار کارآمد است.

پیش‌نیاز این‌گونه مدل‌ها اطلاعات کامل و دقیقی از خصوصیات خاک، وضعیت کاربری اراضی و اطلاعات هیدروکلیماتولوژی منطقه است لیکن خروجی‌های مطلوبی از کمیت و کیفیت مؤلفه‌های بیلان آب را به‌همراه دارد. در دهه‌های اخیر به‌منظور شناخت بیلان آبی در یک حوزه آبخیز و پیش‌بینی میزان جریان در خروجی حوضه، مدل‌های ریاضی و نرم‌افزارهای زیادی توسعه داده شده است. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در بسیاری از موارد می‌تواند دقت و سرعت انجام محاسبات را افزایش داده، امکان تلفیق داده‌ها و خصوصیات مکانی را در قالب یک پایگاه داده فراهم نماید. یکی از مدل‌های نرم‌افزاری که اخیراً در نقاط مختلف جهان به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی عوامل هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز، چه از نظر کمی و کیفی، مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل هیدرولوژیک می‌باشد. مدل مذکور یک مدل تحلیلی، کیفی و با پیوستگی زمانی است که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی امریکا تهیه شده است (۵). همچنین مدل فوق یک مدل نیمه‌توزیعی بوده که برای شبیه‌سازی حوزه آبخیز به‌صورت پیوسته در مقیاس روزانه عمل می‌کند و برای پیش‌بینی اثر روش‌های مدیریتی متفاوت زمین برروی جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌های زراعی بزرگ با خاک و کاربری اراضی متغیر برای بازه‌های زمانی طولانی تهیه و توسعه یافته است. این مدل مبنای فیزیکی دارد و قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) را دارا بوده و محدودیتی از نظر ورود حجم وسیعی از اطلاعات در مورد حوضه‌های وسیع وجود ندارد.

توسعه تکنولوژی GIS، شیوه‌های بسیار کارآمد، مؤثر و مقرون به صرفه‌ای جهت مطالعه سیستم‌های هیدرولوژیک فراهم نموده است. این موضوع درگسترش مدل‌های توزیع یافته مکانی در بستر GIS که در آن اطلاعات مکانی به‌صورت واحدهای همگن در کنار داده‌های هیدرولوژی قرار می‌گیرند و همچنین توان و امکان دورنگری، سناریوسازی، شبیه‌سازی، پیش‌بینی و نیز درک و بیان فرآیندهای پیچیده و پویا را فراهم می‌نمایند، سهم به‌سزایی دارد (۳).

اندازه‌گیری اجزای بیلان آب در فاصله‌های زمانی مورد نیاز به خاطر وقت‌گیر و پرهزینه بودن، مشکل است. روش‌های تدوین بیلان آب به‌عنوان یکی از موضوعات اصلی در علم هیدرولوژی، بیانگر روش حل مسائل مهم نظری و عملی هیدرولوژی می‌باشد. بر پایه نگرش بیلان آب این امکان وجود خواهد داشت که بتوان ارزیابی کمی و کیفی (رسوب معلق) منابع آب و تغییر آنها را که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های بشر است انجام داد. لذا شبیه‌سازی مؤلفه‌های جریان و نیز درک صحیحی از بیلان آب برای بررسی‌های چرخه هیدرولوژیکی بسیار مهم است (۹).

حسینی (۹) با بررسی مزیت‌ها و معایب تعداد پانزده مدل هیدرولوژیکی مدل SWAT را به‌دلیل دقت مناسب در برآورد صحیح مؤلفه‌های بیلان آبی برای شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز طالقان برگزید. این محقق و اشرف (۸) در کتاب چهار فصلی خود ضمن بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف اراضی برروی بیلان آبی، مؤلفه‌های آب حوضه را با استفاده از مدل مذکور استخراج نمودند و بر قابلیت و کارآیی مدل در سایر حوزه‌های آبخیز کشور تأکید داشتند.

غفوری و همکاران مدل‌های هیدرولوژیکی را ابزار مفیدی برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی مؤلفه‌های جریان به حساب می‌آیند و اذعان می‌دارند که با به‌کارگیری این مدل‌ها علاوه بر ارزیابی اقدامات مدیریتی برروی مؤلفه‌های جریان، می‌توان برای

بهینه‌سازی عملیات کشاورزی در منطقه غیراشباع خاک استفاده نمود (۴).

مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) یک مدل هیدرولوژیکی نیمه‌فیزیکی و نیمه‌توزیعی است و با داشتن قابلیت اجرا در محیط GIS یک ابزار مناسب در مطالعات آب‌وخاک می‌باشد. این مدل، در کشورهای مختلف برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی به‌کار برده شده است و قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای GIS را دارا بوده و محدودیتی از نظر ورود حجم وسیعی از اطلاعات در مورد حوضه‌های وسیع وجود ندارد (۹).

توانایی مدل در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی پیچیده حوزه‌های آبخیز در محیط GIS این مدل را نسبت به مدل‌های یکپارچه که در آنها واحدهای کاری بزرگ‌تر، مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است (۱). در تحقیق مذکور به‌منظور بررسی بیلان آبی در حوضه آبخیز نمرود از مدل SWAT جهت مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه استفاده شده است.

در مطالعه‌ای آرنولد و همکاران (۵) با استفاده مدل SWAT بیلان هیدرولوژیکی را برای حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی درآمریکا شبیه‌سازی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که بیلان هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس با استفاده از مدل SWAT به‌طور واقع بینانه‌ای قابل شبیه‌سازی است.

عباسپور (۶) با بهره‌گیری از فایل‌های خروجی مدل SWAT چهاربرنامه به نام‌های ۲SUFI، ParaSol، GLUE و MCMC را به مدل مذکور ملحق کردند که به‌کارگیری آنها در یافتن محدوده‌های پارامترهای جریان، رسوب، کیفیت و... به‌منظور واسنجی مدل بسیار مؤثر می‌باشد.

رستمیان (۱۳) در حوضه بهشت آباد (واقع در کارون شمالی) با استفاده ازمدل SWAT اقدام به برآورد مقادیردبی و بار رسوب کرده و دریافت که مدل مذکور در برآورد دبی رودخانه عملکرد مناسبی داشته، اما در شبیه‌سازی دبی‌های اوج رودخانه موفقیتی نداشته است. همچنین توانایی مدل در برآورد بار رسوب را در حد متوسط ارزیابی نمود.

حسینی و همکاران (۲) در پژوهش خود جریان رودخانه قره‌سو در استان کرمانشاه را با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) شبیه‌سازی کردند. هدف اصلی از این تحقیق آزمون کارایی مدل مذکور و قابلیت استفاده از آن به‌عنوان شبیه‌ساز جریان در آبخیز قره‌سو می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق استفاده از مدل واسنجی‌شده SWAT برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه آبخیز قره‌سو به‌منظور بررسی اثرات اقدامات مختلف مدیریتی و یا تغییرات محیطی بر دبی جریان توصیه می‌شود.

اگر چه اغلب مطالعات اخیر معطوف به برآورد حجم و رواناب سطحی می‌باشد، لیکن در این پژوهش به‌دلیل اهمیت پتانسیل آب‌های زیرقشری به‌منظور احداث سدهای زیرزمینی علاوه بر شناخت کلیه مؤلفه‌های آب به بررسی پتانسیل آب‌های زیرقشری در حوضه‌های منتخب ۶ استان جنوب‌غرب کشور شامل استان‌های ایلام، بوشهر، خوزستان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد و هرمزگان مورد مطالعه پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

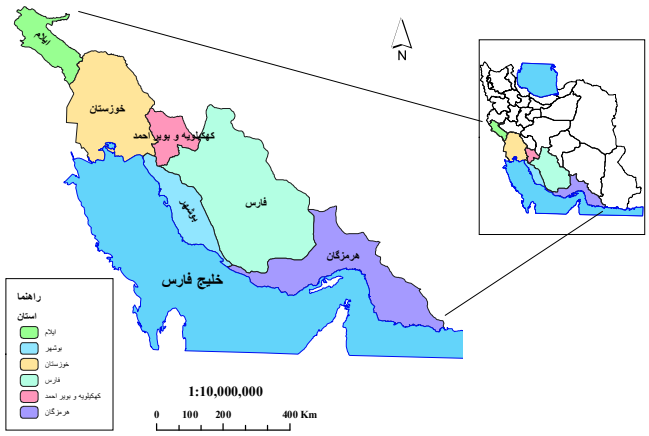
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به لحاظ تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران جزئی از حوزه آبریز خلیج فارس به‌شمار می‌رود. منطقه تحقیق بخشی از حوضه زاگرس مرکزی شامل حوضه‌های مرزی غرب، کرخه، کارون بزرگ، هندیجان- جراحی، حله شرق و غرب، مندوکفه، کل- مهران، و بخشی از بندرعباس- سدیج و نواحی مرزی آنها با حوضه‌های مجاور می‌باشد. این منطقه در حدفاصل طول جغرافیایی ۴۶ درجه، ۶ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۵۲ درجه، ۲۰ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه، ۱۰ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۶ درجه، ۴ دقیقه و ۱۲ ثانیه شمالی قرار دارد. این محدوده، مجموعاً دارای وسعت ۱۷۷۸۷۸ کیلومترمربع بوده که بیش از ۱۰ درصد سطح کشور ایران را در بر می‌گیرد (شکل ۱).

با توجه به بی‌شماربودن اطلاعات ورودی، برای انجام این تحقیق به حوضه‌هایی نیاز می‌باشد که دارای اطلاعات موردنظر

جدول ۱. مشخصات حوضه‌های مطالعاتی

ردیف	استان	نام حوزه	ایستگاه هیدرومتری	نام رودخانه اصلی	ارتفاع ایستگاه (متر)	مساحت حوزه (کیلومترمربع)
۱	ایلام	سرجوی گل‌گل	سرجوی گل‌گل	گل‌گل	۱۱۰۰	۲۱۹/۷۵۳
۲	بوشهر	باغان	باغان	باغان	۸۵	۴۹۲/۶۵۳
۳	خوزستان	مرغاب	مرغاب	مرغاب جلوگیر	۴۷۸	۶۷۹/۲۰۰
۴	فارس	شکستیان	شکستیان	شور	۷۱۴	۶۱۳/۳۰۳
۵	کهگیلویه وبویراحمد	تنگ بریم	تنگ بریم	شیو	۷۴۸۳	۷۹۶/۸۸۱
۶	هرمزگان	درآگاه	درآگاه	درآگاه-گنج	۱۱۰۶	۲۸۹۴/۱۹

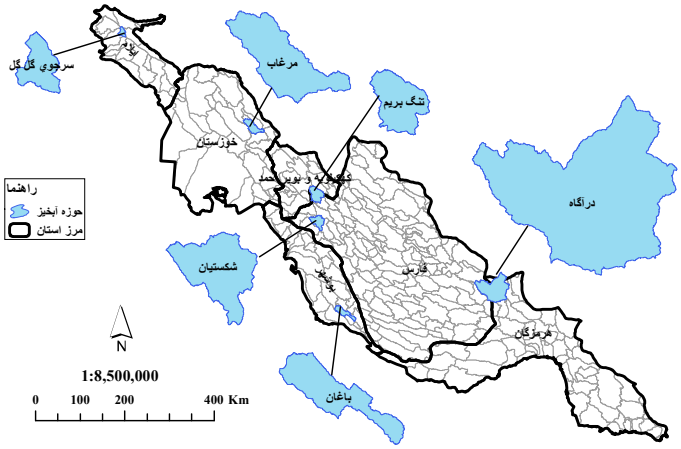


شکل ۱. گستره کلی مناطق مورد مطالعه

از قبیل بارش روزانه و دبی اندازه‌گیری‌شده و سایر اطلاعات ذکر شده باشد. همچنین، از نظر موقعیت منطقه و خصوصیات فیزیکی دارای خصوصیات مربوطه باشند. پس از بررسی داده‌های لازم در ۶ استان جنوب و غرب کشور در هر استان یک حوضه که شرایط لازم را داشتند، به‌منظور انجام این تحقیق انتخاب شدند. مشخصات این حوضه‌ها در جدول (۱)، گستره کلی مناطق مورد مطالعه در استان‌های ایلام، بوشهر، خوزستان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد و هرمزگان در شکل (۱) و موقعیت حوضه‌های منتخب استانی در شکل (۲) نشان داده شده است.جهت اجرای مدل SWAT و شبیه‌سازی و تحلیل پتانسیل‌های زیرسطحی، ابتدا داده‌های ایستگاه‌های تبخیر سنجی و باران‌سنجی متعلق به سازمان هواشناسی درمقیاس روزانه، همچنین داده‌های ایستگاه سینوپتیک جمع‌آوری شد. پس از انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری مناسب، با بازدیدهای میدانی، داده‌های دبی موجود مورد بازسازی و اصلاح قرار گرفت و سپس عملیات پردازش و آماده‌سازی داده‌های خام، جهت معرفی به مدل انجام گرفت.

در این تحقیق در هر استان با توجه به موقعیت مکانی حوضه مورد مطالعه، از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه به حوضه شامل ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور، ایستگاه سینوپتیک و ایستگاه‌های کلیماتولوژی داخل و اطراف هرحوضه استفاده شده است. در مجموع در منطقه مورد نظر تعداد ۱۳۹ ایستگاه تبخیر سنجی و ۳۲۷ ایستگاه باران‌سنجی فعال موجود است.

مدل SWAT نیاز به داده‌های اقلیمی روزانه مشتمل بر بارندگی، دما، رطوبت نسبی، باد و تابش خورشیدی می‌باشد. با



شکل ۲. موقعیت حوزه‌های منتخب استانی

توجه به محدودیت‌ها و نقص‌های موجود، برای بارندگی از آمار روزانه ایستگاه‌های باران سنجی محدوده حوضه، یعنی ایستگاه‌های داخل و ایستگاه‌های نزدیک اطراف حوضه‌های انتخابی جهت انجام این تحقیق استفاده شده است. تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده برای هر منطقه مطالعاتی متفاوت بوده و بستگی به پراکنش و تعداد ایستگاه‌های فعال موجود و دارای آمار مناسب آن استان دارد. داده‌های باران از ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی و داده‌های درجه حرارت روزانه از ۲۳ ایستگاه تبخیر سنجی تهیه شد. سایر پارامترهای اقلیمی توسط مدل با استفاده از مولد پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی می‌شود (۱۲).

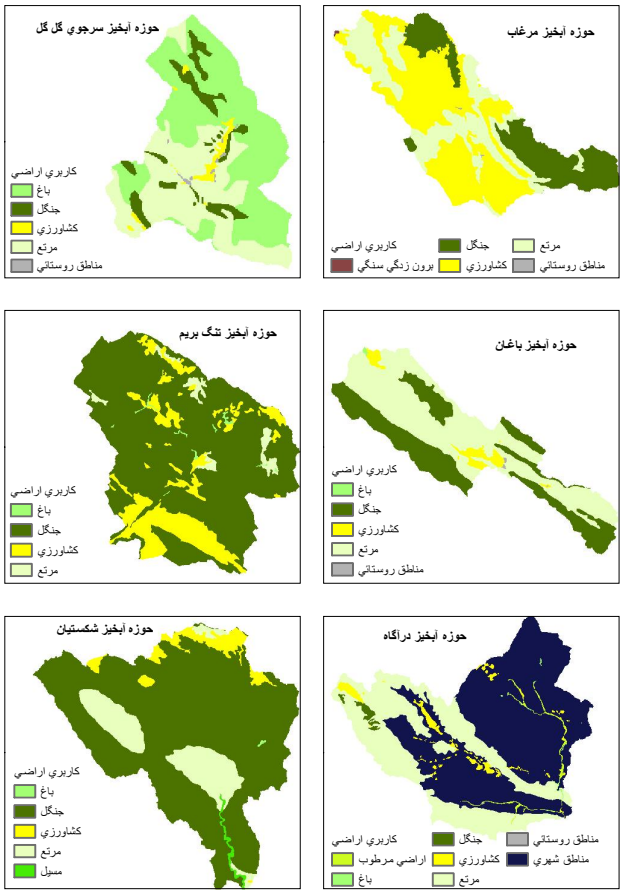
در این تحقیق اطلاعات لازم برای این محاسبات از مدل رقومی ارتفاع راداری یا SRTM برای زیرحوضه‌های مطالعاتی استفاده گردیده است. کاربری اراضی حوضه‌های مطالعاتی در شکل (۳) نشان داده شده است. برطبق این نقشه انواع کاربری منطقه مطالعاتی به‌صورت Shape و یا به Raster از لایه کاربری اراضی حوضه با استفاده از مطالعات انجام شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور تهیه شده است. طبق گزارش‌های موجود، این نقشه از تصویر ماهواره‌ای لندست سال ۱۳۸۴ با روش طبقه‌بندی نظارت شده و تفسیر چشمی تهیه شده است.

در اکثر مناطق از نقشه جهانی خاک که توسط فائو با دقت ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تهیه شده و اطلاعات آن در پایگاه اطلاعاتی مدل (SWAT2009.mdb) وجود دارد، استفاده می‌شود. نقشه خاک‌شناسی مورد استفاده در این تحقیق نیز، نقشه جهانی خاک فائو می‌باشد. شکل (۴) نقشه‌های خاک‌شناسی حوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

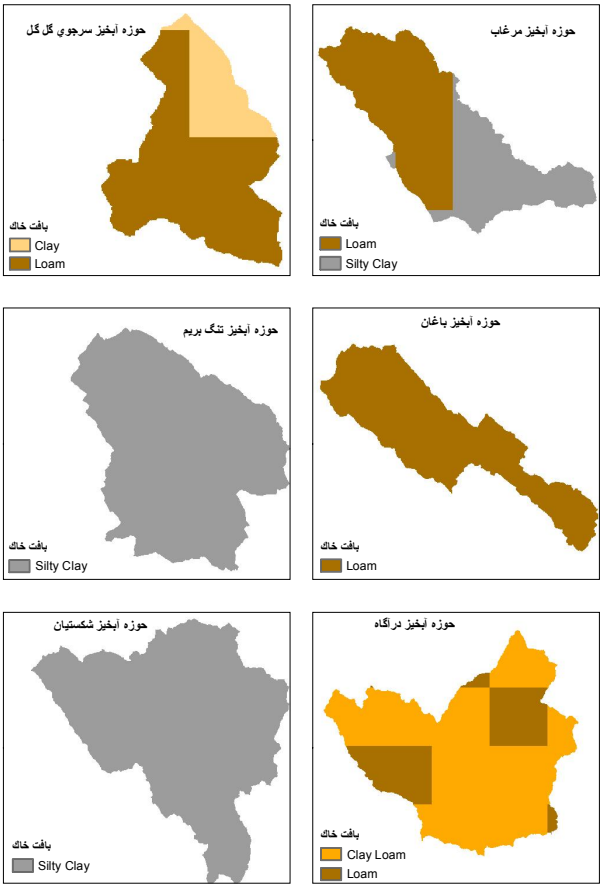
با توجه به زیاد بودن تعداد پارامترهای مدل، برای انجام موفق و سریع‌تر مرحله واسنجی، از تحلیل حساسیت با روش "یک پارامتر در هر بار" OAT(one-at-a-time) برای شناسایی پارامترهای مهم‌تر و حساس‌تر مدل استفاده شد. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل با استفاده از الگوریتم SUFI۲ (Sequential Uncertainty Fitting۲) توسط عباس‌پور (۷) و براساس داده‌های جریان رودخانه‌های مربوطه واسنجی، اعتبارسنجی و سپس مورد ارزیابی آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

پس از اجرای مدل SWAT خروجی‌های مدل شامل: مؤلفه‌های جریان سطحی، جریان زیرسطحی و جریان زیرزمینی به‌صورت فایل متنی حاوی اطلاعات به‌دست آمد. بررسی و مقایسه اولیه نتایج نشان داد که، مهم‌ترین خطاهای نتایج عبارتند از بالابودن حجم رواناب کل، عدم هماهنگی نقاط اوج و شیب هیدروگراف‌ها و کم بودن حجم آب پایه. با اجرای الگوریتم SUFI۲ و با استفاده از نتایج آنالیز حساسیت مدل، پارامترهای حساس برای هر حوضه به‌طور جداگانه شناسایی شد. نتایج



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی در حوضه‌های مورد مطالعه



شکل ۴. نقشه خاک‌شناسی در حوضه‌های مورد مطالعه

حاصل از حساسیت سنجی مدل نشان می‌دهد که پارامترهای ثابت تخلیه آب زیرزمینی (ALPHA_BF)، شماره منحنی (CN) و ظرفیت آب قابل دسترس خاک (SOL_AWC) از حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها برخوردارند که ترتیب پارامترهای حساس و مقدار بهینه پارامترهای مدل در جدول (۲) نشان داده شده است.

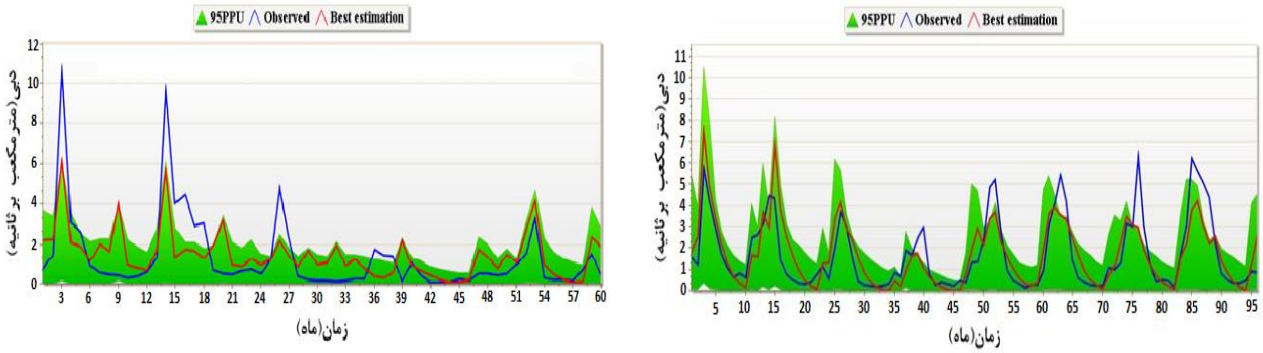
برای شبیه‌سازی ۲/۳ داده‌های هیدرومتری مشاهداتی برای واسنجی و ۱/۳ داده‌ها برای اعتبارسنجی مدل استفاده و از روش‌های آماری متداول برای ارزیابی دقت مدل در طول دوره آماری استفاده شد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی ماهانه مدل در شکل‌های (۵) تا (۱۰) و نتایج شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل در جدول (۳) ارائه شده است.

به‌منظور ارزیابی اجرای صحیح الگوریتم SUFI-۲ در شبیه‌سازی جریان رواناب از چهار عامل P-factor، R-factor، ضریب کارآیی نش- ساتکلیف (NS function) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. در الگوریتم SUFI-۲ سنجش میزان عدم قطعیت در مدل‌سازی شامل عدم قطعیت در ورودی‌ها (بارندگی)، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده بوده و توسط معیار P-factor ارزیابی می‌شود که بیانگر درصد داده‌های اندازه‌گیری شده درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد (PPU۹۵) است. فاکتور P که نشان دهنده درصد حضور داده‌های مشاهداتی در محدوده عدم قطعیت ۹۵ درصد است, اغلب PPU۹۵ نامیده می‌شود. محدوده فاکتور P بین صفر تا یک بوده و هر چقدر عدد به‌دست آمده برای این فاکتور به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تطابق بهتر داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی یا اندازه‌گیری شده است (۱۴).

فاکتور R نشان‌دهنده ضخامت پهنای باند عدم قطعیت

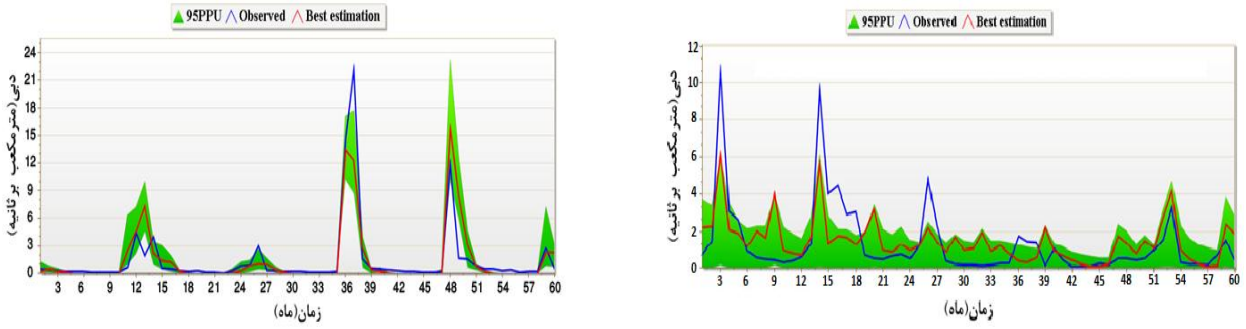
جدول ۲. ترتیب پارامترهای حساس و مقدار بهینه پارامترهای مدل

نام پارامتر	علامت اختصاری	ترتیب حساسیت	محدوده تغییرات		مقدار بهینه
ثابت تخلیه آب زیرزمینی	v__ALPHA_BF.gw	۱	۰/۰۹۷	۰/۰۷۹	۰/۰۹۲
شماره منحنی روش SCS	r__CN۲.mgt	۲	-۰/۲۲۷	-۰/۲۲۹	-۰/۲۲۸
ظرفیت آب قابل دسترس خاک	r__SOL_AWC(۱).sol	۳	-۰/۲۱۷	-۰/۳۱۵	-۰/۲۷۳
عمق خاک	r__SOL_Z(۱).sol	۴	۲/۰۲	۱/۷۴۱	۲/۰۱۲
حداقل ذخیره آب زیرزمینی برای رخ دادن جریان پایه	v__GWqmn.gw	۵	۱۴/۳۵	۴/۹۰۵	۷/۵۵۷
فاکتور جبران تبخیر در خاک	v__ESCO.hru	۶	-۰/۰۲۵	-۰/۰۷۳	-۰/۰۳۷
آستانه تراز آب در سفره سطحی برای تبخیر	v__REVAPMN.gw	۷	۰/۶۲۱	۰/۴۴۱	۰/۵۵۲
ضریب تبخیر از سفره زیرزمینی	r__gw_revap.gw	۸	-۰/۸۹۹	-۰/۹۰۷	-۰/۹۰۷
زمان تأخیر آب زیرزمینی	v__GW_DELAY.gw	۹	۳۷/۲۷۱	۳۶/۴۰۴	۳۷/۲۵۸
هدایت هیدرولیکی کانال	v__CH_K۲.rte	۱۰	۱۲/۲۱	۱۱/۳۴۶	۱۱/۷۸



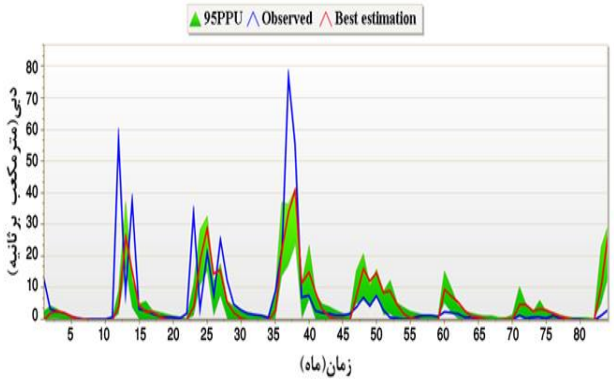
دوره اعتبارسنجی مدل (۵ سال) — دوره اعتبارسنجی مدل (۸ سال)

شکل ۵. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی (۲۰۰۹-۱۹۹۷) حوضه گل‌گل ایلام

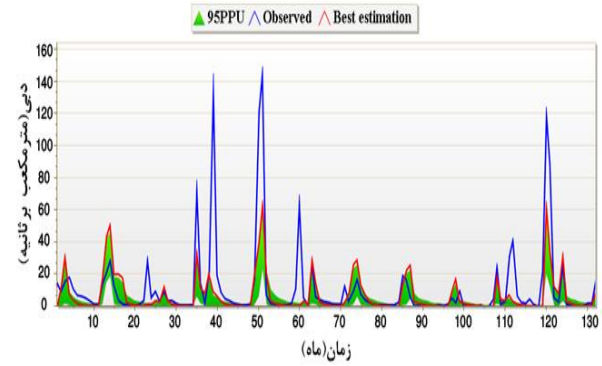


دوره اعتبارسنجی مدل (۳ سال) — دوره اعتبارسنجی مدل (۵ سال)

شکل ۶. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (۲۰۰۸-۲۰۰۱) حوضه باغان بوشهر

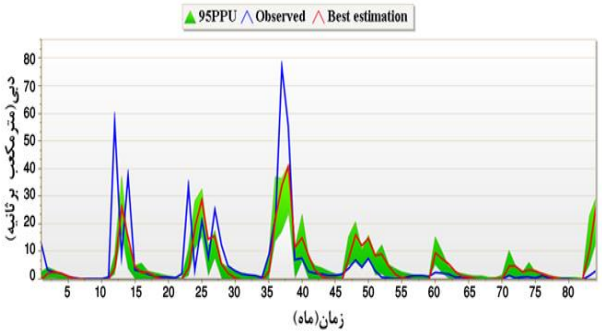


دوره اعتبارسنجی مدل (۷ سال)

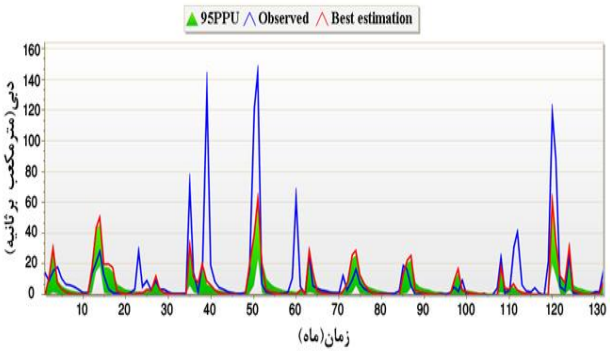


دوره اعتبارسنجی مدل (۸ سال)

شکل ۷. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (۲۰۰۹-۱۹۹۲) حوضه مرغاب خوزستان

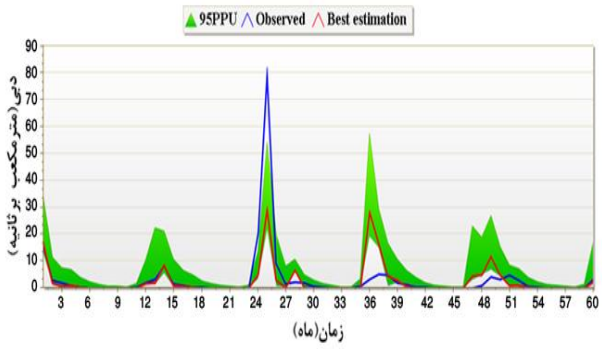


دوره اعتبارسنجی مدل (۷ سال)

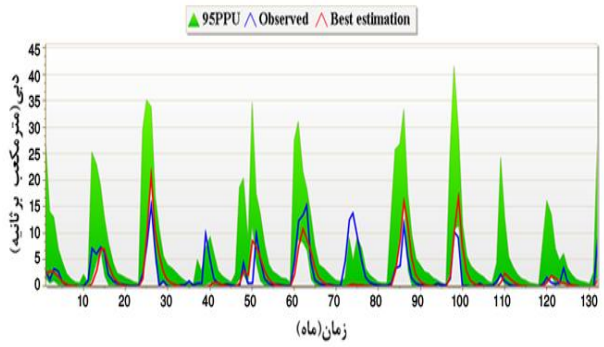


دوره اعتبارسنجی مدل (۱۱ سال)

شکل ۸. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (۲۰۰۸-۱۹۹۲) حوضه تنگه بریم کهگیلویه و بویراحمد



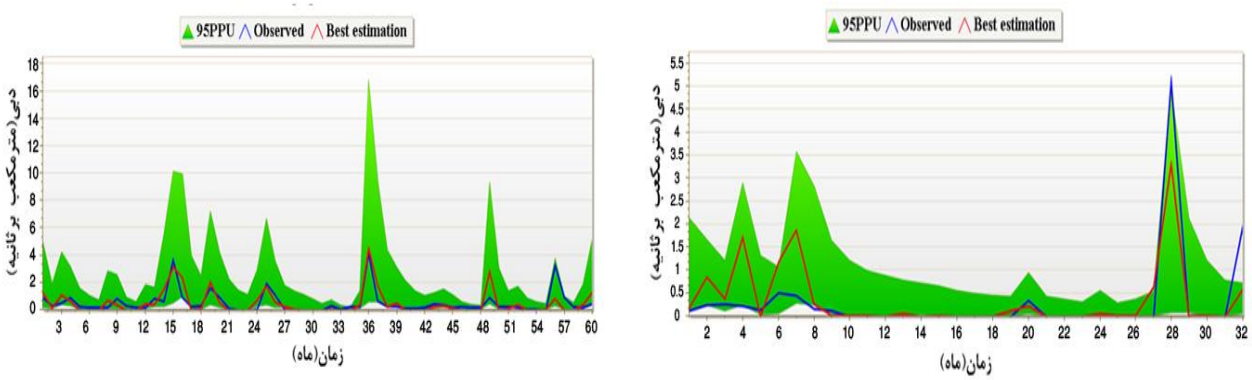
دوره اعتبارسنجی مدل (۵ سال)



دوره اعتبارسنجی مدل (۱۱ سال)

شکل ۹. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (۲۰۰۶-۱۹۹۱) حوضه شکستیان فارس

(PPU۹۵) بوده که حالت بهینه آن، حالتی است که در آن باند عدم قطعیت، کمترین ضخامت را داشته باشد. محدوده فاکتور R بین صفر تا بی‌نهایت بوده و هر چقدر عدد به‌دست آمده برای این فاکتور به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تطابق بهتر داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی یا اندازه‌گیری شده است، اما به خاطر داشته باشیم که مقادیر بهینه



دوره اعتبارسنجی مدل (۵ سال) دوره اعتبارسنجی مدل (۱۱ سال)

شکل ۱۰. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (۲۰۰۹-۲۰۰۲) حوضه دراگاه هرمزگان

جدول ۳. ارزیابی عملکرد مدل و نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی در حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	دوره	سال	R - factor	P - factor	R^2	NS	نتیجه ارزیابی مدل
گل‌گل_ ایلام	واسنجی	۸	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۶	رضایت‌بخش
	اعتبارسنجی	۵	۱/۰۳	۰/۸۲	۰/۵۱	۰/۴۹	رضایت‌بخش
مرغاب _ خوزستان	واسنجی	۱۱	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۴۵	۰/۴۰	رضایت‌بخش
	اعتبارسنجی	۷	۰/۴۰	۰/۶۷	۰/۴۱	۰/۴۰	رضایت‌بخش
تنگ بریم _ کهگیلویه و بویراحمد	واسنجی	۱۱	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۴۵	۰/۴۰	رضایت‌بخش
	اعتبارسنجی	۶	۰/۴۰	۰/۶۷	۰/۴۱	۰/۴۰	رضایت‌بخش
شکستیان _ فارس	واسنجی	۱۱	۱/۶۸	۰/۸۸	۰/۴۴	۰/۳۲	غیر قابل‌قبول
	اعتبارسنجی	۵	۰/۴۶	۰/۸۵	۰/۴۶	۰/۴۵	رضایت‌بخش
باغان _ بوشهر	واسنجی	۵	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۷۳	رضایت‌بخش
	اعتبارسنجی	۳	۲/۲۶	۰/۵۰	۰/۶۷	۰/۴۸	رضایت‌بخش
دراگاه _ هرمزگان	واسنجی	۵	۰/۵۳	۰/۶۷	۰/۸۴	۰/۷۸	عالی
	اعتبارسنجی	۳	۱/۲۳	۰/۳۱	۰/۶۲	۰/۶۲	رضایت‌بخش

برای پارامترهای مدل در هنگام شبیه‌سازی از تناسب مقادیر قابل قبول برای دو فاکتور P و R به‌دست می‌آید (۱۰).

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل و نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی در حوضه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر ضریب تبیین (R^2) از ۰/۴۱ تا ۰/۸۴ و ضریب نش- ساتکلیف از ۰/۳۲ تا ۰/۷۸ متغیر می‌باشد که حاکی از رضایت بخش بودن نتایج در کلیه حوضه‌ها بجز دوره واسنجی حوضه شکستیان فارس می‌باشد. شاخص نش- ساتکلیف پرکاربردترین شاخص برای ارزیابی نتایج در شبیه‌سازی‌های جریان پیوسته است. عموماً اگر شاخص نش- ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد کارایی مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیرقابل

جدول ۴. حجم آب قابل استحصال در حوضه‌های شش گانه مورد مطالعه

حوضه	تبخیر و تعرق (Evapotranspiration)(٪)	آب موجود در خاک (Soil Water content)(٪)	جریان زیرزمینی (Groundwater flow)(٪)	جریان سطحی (Surface Runoff)(٪)	جریان زیرسطحی (Sub surface flow)(٪)	بارش (Precipitation) (میلی‌متر)
گل گل ایلام	۷۲	۳	۷	۱۰	۸	۵۰۲
مرغاب خوزستان	۴۶	۳	۹	۴۲	۱	۶۴۶
تنگ بریم کهگیلویه	۵۵	۱	۹	۳۱	۴	۷۰۸
شکستیان فارس	۷۶	۲	۴	۵	۱۳	۵۱۰
باغان بوشهر	۷۴	۴	۲	۱۹	۱	۱۸۹
درآگاه هرمزگان	۹۶	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۴	۳	۹۰

قبول فرض می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۰۹ به نقل از نش و ساتکلیف) (۱۱).

بحث و نتیجه‌گیری

حجم آب قابل استحصال از مؤلفه‌های جریان نشان می‌دهد که بیشترین سهم بیلان آب مربوط به تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد که محدوده تغییرات آن بنا به نوع بارش و وضعیت مورفولوژیکی و توپوگرافی منطقه مورد تحقیق از در صد در حوضه مرغاب خوزستان ۴۶ تا ۹۶ درصد در حوضه درآگاه استان هرمزگان متغیر است. با توجه به این درصد قابل توجه تبخیر و تعرق، برنامه‌ریزی در تغییر الگوی کشت و استفاده از روش‌های کاهش تبخیر رطوبت از سطح خاک از ضروریات سازگاری با این مؤلفه می‌باشد (جدول ۳). بیشترین در صد جریان زیر زمینی مربوط به حوضه‌های مرغاب استان خوزستان و تنگ بریم استان کهگیلویه و بویراحمد با ۹ در صد می‌باشد و کمترین آن با ۰/۱ در صد مربوط به درآگاه هرمزگان می‌باشد که علت اصلی آنرا می‌توان به بارش کم حوضه و بافت خاک سنگین حوضه نسبت داد. در این حوضه به‌دلیل خاک شدیداً غیر قابل نفوذ، عمده نزولات آسمانی با کمترین نفوذ در خاک از طریق به دام افتادن در چالاب تبخیر می‌شود و یا پس از جاری شدن به دریا ریخته و فرآیند تبخیر در آن شکل می‌گیرد.

ارزیابی جریان سطحی نشان می‌دهد که حوضه‌های مرغاب خوزستان و تنگ بریم کهگیلویه و بویراحمد به‌ترتیب با ۴۲ و ۳۱ درصد بیشترین جریان سطحی را به‌خود اختصاص می‌دهند که برنامه ریزان محلی را بر این وا می‌دارد که از هدررفت چنین سرمایه‌های ملی با روش‌های متداول همچون پخش سیلاب در مخروط افکنه‌ها و میان دشت‌های حوضه اقدامات اساسی چاره نمایند. درآگاه هرمزگان با ۰/۴ درصد کمترین سهم را از این مؤلفه دارا می‌باشد.

ارزیابی جریان زیرسطحی که از اهمیت ویژه‌ای در مبحث مدیریت منابع آب با احداث بندها و سدهای زیرزمینی برخوردار است، حاکی از این‌است که حوضه‌های شکستیان فارس و گل‌گل ایلام با به‌ترتیب ۱۳ و ۸ درصد بیشترین سهم این مؤلفه را دارا هستند و در صورت داشتن سایر شرایط اختصاصی در احداث سد زیرزمینی در اولویت قرار دارند. حوضه باغان بوشهر به‌دلیل وجود بافت سنگین خاک، از حداقل جریان زیر سطحی برخوردار است.

نتایج این تحقیق نشان داد که در کلیه زیرحوزه‌ها تبخیر و

تعرق واقعی از ۴۶ تا ۹۶ در صد، جریان زیرزمینی از ۲ تـا ۹ در صد، جریان سطحی از ۰/۴ تا ۴۲ در صد و جریان زیر سـطحی از ۱ تا ۱۳ در صد متغیر است. حسینی و اشرف (۸) در تحقیـق خود در حوزه آبخیز طالقان نشان دادند که مقادیر این مؤلفـه‌هـا به‌ترتیب برابر ۴۸/۶، ۳۵/۶، ۱/۵ و ۱۵ درصد می‌باشد. تغییـرات حاصله نشان می‌دهد که عوامل فیزیکی همچون توپوگرافی، آب و هوا، خاک و کاربری اراضی می‌تواند مؤلفه‌های بیلان را تحت تأثیر قرار داده و بهره‌برداران و تصمیم‌گیران محلی و منطقه‌ای را در مدیریت این عوامل کوشا سازد.

بنابراین می‌توان در یک نتیجه‌گیری کلی به توانایی و کارایی مدل فیزیکی SWAT در حوضه‌های منتهی به مرزهای جنوب و خلیج‌فارس در بـرآورد مؤلفـه‌هـای بـیلان آبـی اذعـان نمـود و برنامه‌ریزان محلی و منطقه‌ای را در زمینه استفاده از پتانسیل‌های منابع آب موجود در منطقه پیش‌آگاهی داد.

منابع مورد استفاده

۱. اکبری، ح. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه چهل‌چای استان گلستان بـا اسـتفاده از مـدل SWAT. پایـان‌نامـه کارشناسـی ارشددانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲. حسینی، م.، م. ر. طباطبایی، ا. سررشته داری، س. ع. خلخالی، م. گودرزی. ۱۳۹۲. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی شبیه‌سازی بـیلان آبی در حوزه آبخیز کرخه _ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

۳. بیات، ب.، ا. ا. متکان، ح. زینی‌وند، ب. میرباقری و ب. عربی. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی توزیع مکانی بارش با استفاده از روش میـانگیری در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه مرکزی کرمانشاه). مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خـاک و هوا. کرمان. ۲۳ تا ۲۴ آبان ۱۳۸۹.

۴. غفوری، م.، حسینی، م.، م. ر. طباطبایی، ا. سررشـته‌داری، س. ع. خلخـالی، م. گـودرزی. ۱۳۹۳. گـزارش نهـایی طـرح تحقیقـاتی شبیه‌سازی بیلان آبی در حوضه بزرگ کرخه-پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

5. Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, J. R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. J. of the Am. Water Resour. Association 34(1): 73-89.
6. Abbaspour, K. C. 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.
7. Abbaspour, K. C., A. Johnson Van and M. Th. Genuchten. 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadose Zone J. 3(4): 1340-1352.
8. Hosseini, M. and M. A. Ashraf. 2015. Application of the SWAT model for water components separation in Iran. Springer, Japan. PP: 97-98.
9. Hosseini, M., 2010. PhD Thesis., Effect of landuse changes on surface runoff and suspended sediment yield of Taleghan catchment, Iran. UPM. PP: 10-57.
10. Narsimlu, B., A. K. Gosain, B. R. Chahar, S. K. Singh and P. K. Srivastava. 2015. SWAT model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction in the Kunwari river basin, India, using sequential uncertainty fitting. Environ. Processes 2: 79-95.
11. Nash, J. E., J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models 1.A Disscussion of principales. J. of Hydrology 10(3): 282-290.
12. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, R. Srinivasan, J. R. Williams. 2005. Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Theoretical Documentation: Version 2005". USDA Agricultural Research Service and Texas A&M Blackland Research Center,Temple.
13. Rostamian, R., A. Jaleh, M. Afyuni, S. F. Mousavi, M. Heidarpour, A. Jalalian, K. Abbaspour. 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran, Hydrological Sci. 53: 977-988.
14. Yang, J., K.C. Abbaspour and P. Reichert H. Yang. 2008. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to Chaohe basin in China. J. Hydrology 358(1-2):1-23.

Estimation of Water Balance in watersheds led to west-south frontiers and Persian Gulf by Semi Distributed SWAT Model

M. Hosseini*[1], M. Ghafouri[1], Z. Mokarian[1] and M. R. Tabatabaei[1]

(Received: March 14-2015 ; Accepted: Oct. 1-2016)
DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.183

Abstract

In the last decades, climate change and fluctuation of water balance have been the main reason to apply hydrologic models for estimating quality and quantity of water components as efficient tools in water planning of critical conditions. In addition, these hydrologic models with potential to study the effects of watershed management practices on the runoff components are suitable tools for optimization of watershed operations at present and future. In this research Soil and Water Assessment Tools (SWAT) model has been applied to estimate groundwater runoff for 6 provinces such as Eilam (Golgol Catchment), Boushehr (Baghan Catchment), Khozestan (Morghab Catchment), Fars (Shekastian Catchment), Kohkiloyeh & Boyer Ahmad(Tange Birim Catchment) and Hormozgan (Daragah Catchment) which are located in south and south west of Iran. In order to evaluate the performance of the model, hydrological data, soil, land use and Digital Elevation Model (DEM) entered for each catchment to run the SWAT model. SWAT-CUP with SUFI2 program was used for simulation, uncertainty and validation with 95ppu. P-factor and R-factor are two internal evaluation factors in SUFI2 program and indicators such as the coefficient of determination (R^2) and Nash-Sutcliffe (NS) were used for evaluation of the model. The Nash-Sutcliffe coefficients in six mentioned catchments for calibration period are 0.66, 0.73, 0.40, 0.32, 0.53 and 0.78. They are 0.49, 0.48, 0.42, 0.45, 0.46 and 0.62 for validation period, respectively. Model calibration and validation results showed good performance in estimating the water balance of the basins studied. Except for Shecastian catchment, the evaluation results showed acceptable and favorable results for water balance in the study area.

Keywords: Persian Gulf, South Watersheds, SWAT, Water Balance.

1. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
*: Corresponding Author, Email: mjhossaini@yahoo.com