بررسی مقایسه ای کارایی مدل‌های بارش رواناب AWBM، Sacramento، SimHyd، SMAR و Tank

محمد رستمی خلج*[۱]، علیرضا مقدم نیا[۲]، حسین سلمانی[۳]، علیرضا سپهوند[۱]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۳

چکیده

مدل‌های بارش- رواناب یکی از ابزارهای مهم در مدیریت حوزه آبخیز می‌باشند. فرآیندهای هیدرولوژیکی مختلفی از جمله: نفوذ، مقادیر ذخیره خاک، جریان زیر قشری و ذخیره آب زیرزمینی در مدل‌های بارش- رواناب برای شبیه سازی رواناب در نظر گرفته می‌شوند. به دلیل اینکه امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز جهت بررسی عکس‌العمل حوضه میسر نمی‌باشد، بررسی کارایی مدل‌هایی که بتوانند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل ورودی، پیش بینی قابل قبولی را از فرایندهای هیدرولوژیکی ارائه کنند امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این مطالعه به بررسی مقایسه ای کارایی مدل‌های بارش رواناب AWBM، Sacramento، SimHyd، SMAR و Tank برای شبیه سازی رواناب خروجی از حوزه آبخیز نوده در استان گلستان پرداخته شده است. این مدل‌ها از نوع مدل‌های مفهومی یکپارچه می‌باشند که در بسته نرم افزاری RRL به همراه هشت بهینه ساز کالیبراسیون موجود است که ورودی‌های این مدل‌ها شامل مقادیر روزانه بارش، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه و دبی خروجی از حوضه می‌باشد. نتایج نشان داد بهینه ساز جستجوی مستقیم در بین سایر بهینه سازها نتایج بهتری ارائه می‌کند. مدل AWBM با ضریب ناش ۰/۷۱ برای واسنجی و ۰/۶۳ برای دوره ارزیابی بهترین کارایی را در بین مدل‌ها دارد و مدل SMAR با ضریب ناش ۰/۴۱۷ و ۰/۳۳۸ به ترتیب برای دوره های واسنجی و ارزیابی پایین‌ترین کارایی را داشت. همچنین مدل‌های بررسی شده توانایی شبیه سازی مقادیر کمینه و بیشینه را نداشته‌اند اما مقادیر متوسط را بطور قابل قبولی شبیه سازی می‌کنند از آنجایی که این مدل‌ها نیاز به داده های ورودی زیادی ندارند و استفاده از آن‌ها نیاز به صرف وقت و هزینه زیادی ندارد می‌توان از این مدل‌ها با توجه به نیاز در مدیریت منابع آب استفاده کرد.

کلمات کلیدی: حوضه نوده، بسته نرم افزاری RRL، مدل مفهومی، مدل AWBM، مدل SMA

۱ * نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران، rostami88@ut.ac.ir

۲ دانشیار، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران

۳ دانشجوی دکتری، دانشگاه گرگان، دانشکده منابع طبیعی، گرگان، ایران

مقدمه

مدل‌های زیادی از اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰ توسعه داده شده است تا فرایندهای بارش-رواناب را شبیه سازی کنند. مدل‌های هیدرولوژیکی اجزای مختلف فرآیند بارش - رواناب را تشریح می‌کنند. مدل نماینده ساده ای از کل سیستم حوضه و به عبارتی نمایانگر بخشی از واقعیت-های موجود در یک سیستم است. مدل‌های هیدرولوژیکی ابزار مهمی در مطالعه اقلیم و فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه هستند. مدل-های هیدرولوژیکی قادر به شبیه سازی فرآیندهای سطح زمین به منظور بهبود مدیریت منابع آب می‌باشند (۸).

مدل RRL[1] یا مجموعه برنامه‌های بارش رواناب توسط CRC برای هیدرولوژی حوضه (CRCCH)[2] توسعه یافته است. RRL شامل مدل‌های یکپارچه ای[3] مانند: AWBM، Sacramento، SimHyd، SMAR و مدل Tank می‌باشد که داده های روزانه رواناب را از داده های روزانه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل تولید می‌کند. همچنین RRL شامل هشت بهینه ساز کالیبراسیون، ده معادله صحت سنجی و سه نوع انتقال داده برای مقایسه داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده می‌باشد. علاوه بر این یک ساختار گرافیکی برای کاربر که شامل منوها، دیالوگ‌ها و ابزار نمایش گراف است وجود دارد. مدل‌های بارش رواناب موجود در RRL شامل:۱- مدل AWBM ۲- مدل Sacramento ۳- مدل SimHyd ۴- مدل SMAR و ۵- مدل Tank می‌باشد.

مدل AWBM در سال ۱۹۹۳ توسط بوتن تکمیل شد که یکی از مدل‌های بارش رواناب است و قادر به شبیه سازی رواناب از بارش روزانه یا ساعتی می‌باشد(۲). کاربرد نتایج روزانه مدل در مطالعات مدیریت و استحصال آب و نتایج نوع ساعتی برای محاسبات طراحی سیل می‌باشد. در این زمینه پژوهش‌های زیادی در دنیا انجام شده است به طوری که شریفی و بوید[4] (۱۹۹۴) مدل بارش رواناب سه پارامتره AWBM و SFB را در استرالیا مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که مدل AWBM بهتر از مدل SFB[5] رواناب را شبیه سازی می‌کند(۲۵).

طهاسبی و همکاران (۲۰۱۰) امکان سنجی طراحی سامانه جمع آوری رواناب باران در سطوح آبگیر کوچک به کمک مدل AWBM برای کشت ذرت علوفه ای SC_{704} را بررسی کرد. نتایج مقایسه عملکرد محصول خوب ارزیابی شده است و کارایی مدل AWBM در این زمینه مناسب بوده است(۲۸)

1 rainfall runoff library
2 Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology
3 Lumped

4 . Sharifi, Boyd
5 Soil Filtaration Basflow

زرین و همکاران (۲۰۱۳) از مدل AWBM برای شبیه سازی رواناب خروجی در حوزه های آبخیز بدون آمار در شش زیر حوضه بلوچستان جنوبی در استان سیستان و بلوچستان استفاده کرد. نتایج محاسبه شده توسط مدل در همه زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد که مدل می‌تواند شبیه سازی قابل قبولی در حوضه های مورد مطالعه داشته و با اطلاعات قابل دسترس، عکس‌العمل حوضه های بدون آمار (یا دارای آمار کوتاه مدت) را در مقابل بارش دریافتی شبیه سازی نموده و از قابلیت خوبی در پژوهش‌ها و مدل سازی بارش - رواناب در مناطق خشک و نیمه خشک برخوردار است(۳۵).

بهمنش و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه ای دو مدل AWBM و مدل SimHyd را در منطقه نازلوچای استان آذربایجان غربی با هم مقایسه کردند. در نهایت نتایج، نشان دهنده ی کارایی این دو مدل در منطقه مورد مطالعه بود(۳).

مدل Sacramento یک مدل پیوسته محاسبه رطوبت خاک و از نوع مدل‌های لامپد می‌باشد. این مدل مناسب برای حوضه های بزرگ است و از داده های سالانه ثبت شده برای کالیبراسیون استفاده می‌کند. این مدل برای شبیه سازی بارش-رواناب در حوضه توسعه پیدا کرده است. این مدل پارامترها و ویژگی‌های رطوبت خاک را به گونه ای نشان می‌دهد که ۱- توزیع رطوبت خاک در اعماق مختلف خاک منطقی باشد ۲- ویژگی‌های نفوذ منطقی باشد ۳- اجازه شبیه سازی موثر جریان پایه را می‌دهد (۱۹).در مطالعات گذشته آنالیز گسترده ای توسط وراگ و همکاران[1] (۲۰۰۳) با به‌کارگیری الگوریتم SCEM-UA برای واسنجی پارامترهای مدل Sacramento انجام شده است(۳۱). همچنین یاپا و همکاران[2] (۱۹۹۶) دفعات زیادی الگوریتم بهینه ساز جهانی SCE-UA برای واسنجی مدل Sacramento را با استفاده از دوره های آماری متفاوت اجرا کردند؛ و نتیجه گرفتند که ۸ سال داده‌های جریان برای کالیبراسیون مدل نیاز است(۳۲).

وراگ و همکاران (۲۰۰۶) (۳۰) در مطالعه ای کار یاپا و همکاران (۱۹۹۶) را گسترش دادند و عدم قطعیت مدل Sacramento را به عنوان تابعی از طول دوره و تنوع داده های جریان بررسی کردند(۳۲). همچنین مقادیر بدست آمده از مدل Sacramento با استفاده از بهینه ساز SCEM-UA را با مقادیر بدست آمده از بهینه ساز SCE-UA مقایسه کردند. لوری[3] (۲۰۰۵) روش برآورد مقدار تبخیر و تعرق را برای مدل Sacramento به منظور شبیه سازی جریان رودخانه ای بررسی کرد و نشان داد مدل Sacramento با استفاده از روش برآورد تبخیر و تعرق پنمن عملکرد بهتری دارد(۱۵).

1 . Vrugt etal
2 . Yapo etal
3 . Lowry

در گزارش فنی NOAA (۲۰۰۷) از مدل Sacramento برای مدل سازی فرایند بارش-رواناب روی خاک منجمد استفاده شد و در ادامه در گزارش دیگری این مدل برای مقادیر تبخیر و تعرق اصلاح شد(۲۰).

مدل SimHyd یک مدل مفهومی بارش-رواناب است که جریان روزانه را با استفاده از داده های بارش و تبخیر و تعرق روزانه شبیه سازی می‌کند. SimHyd نسخه ساده شده مدل مفهومی بارش-رواناب HYDROLOG در سال ۱۹۷۲ و MODHYDROLOG در سال ۱۹۹۱ است (۶). این مدل در بیش از ۳۰۰ حوضه در استرالیا به‌کاربرده شده است (۲۳).

مدل SimHyd 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 دو مدل AWBM و Zhang در ۲۲ حوضه استرالیا انجام شد (۱۲) نتایج نشان داد با یک درصد تغییر در مقدار بارش سالانه به ترتیب در مدل‌های SimHyd، AWBM و Zhang01 مقدار جریان سالانه ۲/۴٪، ۲/۵٪ و ۲/۱٪ تغییر می‌کند. در مطالعه دیگری آنالیز حساسیت پارامترهای مدل برای سه حوضه در استرالیای جنوبی مورد بررسی قرار گرفت (۱۱).

کمال و مساح بوانی (۲۰۱۰) تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب را با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژیکی SimHyd و IHACRES در حوضه قره‌سو استان گلستان بررسی کردند. نتایج نشان داد دو مدل بارش-رواناب تغییرات متفاوتی را برای رواناب منطقه در دوره آتی در تمامی ماه های سال شبیه سازی کردند. بطوریکه بیشترین اختلاف بین مقادیر رواناب شبیه سازی 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 شبیه سازی شده منطقه داشته است(۱۳). گودرزی و همکاران (۲۰۱۰) کارایی سه مدل بارش-رواناب SWAT، IHACRES و SimHyd در شبیه سازی رواناب حوضه قره‌سو را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. دوره های مشترک شبیه سازی این سه مدل از یک بازه ۳۰ ساله انتخاب شد. شبیه سازی نشان داد SWAT با ضریب ناش ۰/۸ و معیار خطای ۱/۲ و SimHyd با ضریب ناش ۰/۶۸ و معیار خطای ۱/۵ بیشترین و کمترین کارایی را در دوره واسنجی دارند(۹). این مقادیر برای دوره صحت سنجی ۰/۷۳ ناش و ۱/۱ معیار خطا برای SWAT و ۰/۴ و ۲ برای SimHyd می‌باشد. نتایج نشان داد مدل SWAT بهترین عملکرد را از شبیه سازی رواناب حوضه نسبت

به داده های مشاهداتی در دوره صحت سنجی داشته است.

لی و همکاران[1] (۲۰۱۰) تأثیر دوره آماری را بر عملکرد و بهینه سازی پارامترهای مدل هیدرولوژیکی SimHyd بررسی کردند و از بهینه ساز PSO (particle swarm) برای کالیبراسیون مدل استفاده کرد(۱۴). در این مطالعه دوره‌های آماری یک ساله تا ده ساله بطور تصادفی برای بهینه سازی پارامترها استفاده شد. نتایج نشان داد آمار طولانی مدت لزوماً به عملکرد بهتر مدل منتج نمی‌شود و یک دوره هشت ساله برای بدست آوردن نتایج قابل قبول برای این مدل کافی است. همچنین نتایج نشان داد این مدل در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب نسبت به مناطق خشک کارایی بیشتری دارد.

مدل SMAR در دانشگاه Galway در سال ۱۹۷۰ توسعه داده شد (اوکونل و همکاران، ۱۹۷۰) و اجزای بیلان آب این مدل در سال ۱۹۶۹ توسط ناش و ساتکلیف ارائه شد (۷). مورادا[2] (۱۹۹۹) در بخشی از تز دکتری خود با استفاده از یک مدل مفهومی بارش-رواناب (MWBM[3]) برای گام‌های زمانی مختلف در حوزه های خشک و نیمه خشک میزان رواناب را شبیه سازی کرد و نتایج را با مدل‌های XNJ، SMAR و NAM مقایسه کرد. نتایج نشان داد که این سه مدل نسبت به مدل MWBM کارایی کمتری دارند(۱۸).

بشار[4] (۲۰۱۲) برای شبیه سازی هیدرولوژیکی Blue Nile از مدل‌های HMS و SMAR استفاده کرد و هر دو مدل با استفاده از الگوریتم SMA برای واسنجی مدل‌ها به منظور شبیه سازی روابط بارش، رواناب، ذخیره، تبخیر و تعرق و هدر رفت خاک بکار گرفته شد. نتایج ارزیابی با چهار شاخص ارزیابی نشان داد مدل SMAR کارایی و عملکرد بهتری نسبت به مدل HMS دارد اما مدل HMS برای شبیه سازی مقادیر پیک کارایی بهتری دارد(۲).

ساگووارا[5] برای اولین بار در سال ۱۹۷۴ ساختار مدل TANK را جهت شبیه سازی رواناب سیلاب با توجه به نقش هر یک از اجزای تشکیل دهنده‌ی آن شامل رواناب سریع (رواناب مستقیم)، زیر سطحی سریع، زیر سطحی تأخیری و رواناب زیرزمینی در قالب چهار مخزن سری با روزنه های جانبی ارائه نمود (۲۷) از مزایای مدل TANK عدم نیاز به تعریف بارش مازاد و چگونگی استخراج رواناب مستقیم می‌باشد. یو و هاشینو[6] (۲۰۰۰) با اقتباس از مدل اولیه TANK روش جدیدی را در استخراج توابع پالس واحد برای اجزای تشکیل دهنده‌ی جریان آبراهه ای با استفاده از

1 . Li etal
2 . Moreda
3 monthly water balance models
4 . Bashar
5 . Sugawara
6 . Yue , Hashino

سه مخزن موازی پیشنهاد نموده‌اند(۳۴). تیگسنچالی و گاتام[1] (۲۰۰۰) از دو مدل لامپد TANK و NAM و یک مدل شبکه عصبی برای شبیه سازی سیلاب در دو حوضه تایلند استفاده کرد(۲۹). نتایج واسنجی و ارزیابی نشان داد دو مدل TANK و NAM نتایج مشابه ای دارند و ترکیب یک مدل Stochastic (مدل TANK) و یک مدل Deterministic (NAM) نتایج را بطور قابل قبولی برای شبیه سازی سیلاب بهتر می‌کند. یوکو و همکاران[2] (۲۰۰۱) ساختار مدل TANK را جهت شبیه سازی بارش و جریان‌های روزانه در ۱۲ حوضه ژاپن مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها دریافتند که پارامترهای واسنجی شده، نه فقط توصیف کننده ساختار مدل بلکه منعکس کننده خصوصیات جغرافیایی حوضه نیز می‌باشند که برای هر حوضه تقریباً ثابت هستند(۳۳). چن و آدامز[3] (۲۰۰۶) به منظور افزایش توانایی مدل اولیه TANK با ایجاد ساختار اضافی جهت نشان دادن اثرات ذخیره رطوبت اولیه و ثانویه خاک به نتایج قابل قبولی در شبیه سازی رواناب در حوضه ژانگ جیافنگ چین دست یافتند(۵).

هاشمی و همکاران (۲۰۰۷) مدل بارش رواناب TANK را با استفاده از GIS توسعه دادند. به این صورت که با وارد کردن GIS در فرایند مدل‌سازی به نوعی از داده های حاصل از آن به عنوان ورودی برای مدل هیدرولوژیکی TANK استفاده شد. مدل پیشنهادی برای حوضه معرف امامه بکار گرفته و پس از کالیبراسیون، با استفاده از مشاهدات مستقل صحت مدل مورد تایید قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که با استفاده از GIS همراه با دخالت دادن تغییرات مکانی بارش، دقت نتایج افزایش یافته است(۱۰).

با توجه به دامنه وسیع مدل‌های هیدرولوژیکی موجود، بررسی کارایی مدل‌ها برای اهداف مختلف مدیریتی ضروری می‌باشد. مدل‌هایی که با توجه به نقص و کم بود آمار طولانی مدت و دقیق بتوانند نتایج قابل قبولی را ارائه دهند و به عنوان ابزاری کارآمد در خدمت مدیر حوزه آبخیز باشند. از این رو در این مطالعه پنج مدل موجود در بسته نرم افزاری RRL که عبارتند از مدل‌های: AWBM، sacramento، SimHyd، SMAR و TANK در حوضه نوده استان گلستان مورد بررسی قرار گرفتند.

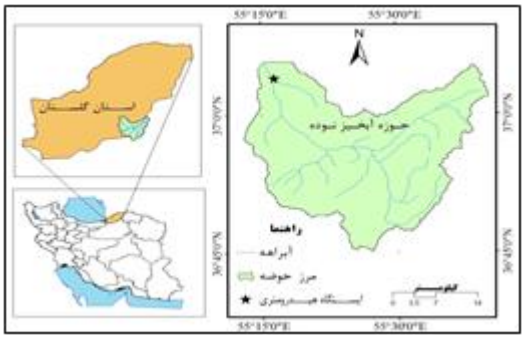
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز نوده با وسعت ۸۶۰/۴۴ کیلومتر مربع در دامنه جغرافیایی ´´۱۰ ´۱۲ °۵۵ تا´´۱۶ ´۴۰ °۵۵ طول شرقی و ´´۱۴ ´۴۵

1 . Tingsanchali, Gautam
2 . Yokoo
3 . Chen , Adams

°۳۶ تا´´۱۱ ´۵ °۳۷ عرض شمالی در استان گلستان واقع شده است. دامنه ارتفاعی حوزه بین ۲۰۶۱-۵۰۶ متر از سطح دریا متغیر است. بارش متوسط سالانه حوضه تقریبا ۲۷۰ میلی متر در سال است که در مناطق کوهستانی بارش بیشتر به صورت برف و در مناطق دشتی به صورت باران می‌باشد. عمده کاربری اراضی حوزه به اراضی کشاورزی و جنگلی اختصاص دارد(شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

اطلاعات ورودی

مدل‌های موجود در بسته نرم افزاری RRL نیازمند اطلاعات اقلیمی در پایه زمانی روزانه است. این اطلاعات شامل بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و دبی می‌باشد. این اطلاعات بجز مقادیر تبخیر از ایستگاه هیدرومتری نوده که دارای طول دوره آماری ۲۰ سال است استخراج شد. اطلاعات تبخیر از ایستگاه هیدرومتری رامیان که در مجاورت این حوضه قرار دارد بدست آمد. مقادیر تبخیر با استفاده از روش تورنت وایت به تبخیر و تعرق پتانسیل تبدیل شد. در این روش، تبخیر و تعرق پتانسیل از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$ETP = 16.2\left(\frac{10T_i}{I}\right)^{\alpha} \quad (۱)$$

که در آن ETP: تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه به میلی متر، T_i: دمای متوسط ماهانه به سانتی‌گراد، I: شاخص حرارتی سالانه که عبارت است از مجموع شاخص‌های حرارتی ماهانه:

$$I = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \quad (۲)$$

شاخص حرارتی ماهانه از روی درجه حرارت متوسط ماهانه بدست می‌آید [۹].

مدل AWBM

مدل AWBM بر اساس نظریه جریان از سطوح جزئی اشباع که مشابه نظریه جریان سطحی اشباع است، توسعه داده شده است. بطور کلی در مدل با در نظر گرفتن سه سطح ذخیره (C_1، C_2 و C_3) با مساحت‌های (A_1، A_2 و A_3) برای شبیه سازی ضریب رواناب استفاده می‌کند. بطور کلی بیلان آب در هر سطح ذخیره به طور مستقل محاسبه می‌گردد. به این ترتیب در مدل AWBM بیلان آب در هر مساحت جزئی در هر مرحله زمانی محاسبه می‌شود. به نحوی که در هر مرحله بارش با توجه به ذخیره رطوبتی در هر یک از سطوح سه‌گانه ذخیره آب در خاک و با لحاظ مقدار

تبخیر و تعرق بیلان آب با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Store_n = Store + rain - evap \qquad (۳)$$

که در آن، اگر میزان رطوبت ذخیره منفی شود، صفر در نظر گرفته می‌شود و اگر رطوبت ذخیره بیش از ظرفیت مخزن شود، رطوبت مازاد به رواناب تبدیل شده و رطوبت ذخیره معادل ظرفیت مخزن باقی می‌ماند (۴). در مدل، فرض بر این است که رواناب از دو منبع اصلی رواناب سطحی و آب پایه تأمین شود.

پارامترهای مدل عبارتند از: ۱- شاخص جریان پایه ۲- ثابت خشکیدگی روزانه جریان و ۳- ظرفیت ذخیره سطحی (C_1، C_2 و C_3) و سطوح متناظر با این ظرفیت‌ها (A_1، A_2 و A_3) برای محاسبه این پارامترها مدل از روش رگرسیون چند متغیره اتوماتیک استفاده می‌کند (۴).

مدل sacramento

مدل Sacramento یک مدل مفهومی بارش رواناب است که توسط NWSRFS[1] برای پیش‌بینی سیلاب در ایالت متحده توسعه پیدا کرده است. این مدل یکی از مدل‌های NWSRFS برای تبدیل ورودی بارش به خروجی جریان آبراهه ای است که دارای ۱۶ پارامتر مختلف است که این پارامترها و مقادیر آن در جدول ۴-۲ ارائه شده است.

مدل SimHyd

مدل SimHyd یک مدل مفهومی یکپارچه است که برای شبیه سازی جریان استفاده می‌شود. در مدل SimHyd از هفت پارامتر استفاده می‌شود که شامل: ضریب جریان پایه، ضریب رواناب سطحی، کسر نفوذ، ظرفیت ذخیره، ضریب تغذیه و ظرفیت ذخیره رطوبت خاک می‌باشند. این پارامترها به وسیله معادلات مختلفی به یکدیگر مربوط می‌شوند و از طریق واسنجی بدست می‌آیند.

مدل SMAR

مدل SMAR نیز یک مدل مفهومی می‌باشد که از تعدادی معادله تجربی و فرضیات حاکم بر آن استفاده می‌کند که حداقل از لحاظ فیزیکی قابل قبول باشد. این مدل از دو مدول تشکیل شده است. مدول تعادل غیر خطی آب مثل مقادیر رطوبت که از روابط پیوستگی قابل قبولی تشکیل شده است و مدول روند یابی که نزول و اثرات بخشی حوضه را با استفاده از روندیابی اجزای مختلف رواناب حاصل را در فواصل زمانی مختلف شبیه سازی می‌کند.

مدل TANK

مدل TANK یک مدل مفهومی یکپارچه است که از چهار مخزن که در زیر سطح زمین قرار

1 National Weather Service River Forecast System

دارند تشکیل شده است. در هر مخزن یک روزنه وجود دارد که رواناب مازاد از هر مخزن از این روزنه خارج شده و مجموع این رواناب های مازاد از هر مخزن رواناب خروجی را شبیه سازی می‌کند.

واسنجی و ارزیابی مدل‌ها

برای مقایسه بهتر کارایی مدل‌های مورد مطالعه در تمامی مدل‌ها دوره Warup ده سال (۱۹۹۴-۱۹۸۴) دوره واسنجی ۴ سال (۱۹۹۸-۱۹۹۴)، دوره Warup ارزیابی ۴ سال (۲۰۰۲-۱۹۹۸) و دوره ارزیابی ۲ سال در نظر گرفته شد. از آنجایی که در بسته نرم افزاری RRL هشت نوع بهینه ساز برای واسنجی و ارزیابی مدل‌ها وجود دارد از بین این هشت بهینه سازی آن‌هایی که بهترین عملکرد را در بین سایر بهینه سازها دارند با توجه به شاخص‌های ارزیابی موجود در بسته نرم افزاری RRL برای واسنجی و ارزیابی مدل‌ها استفاده شدند.

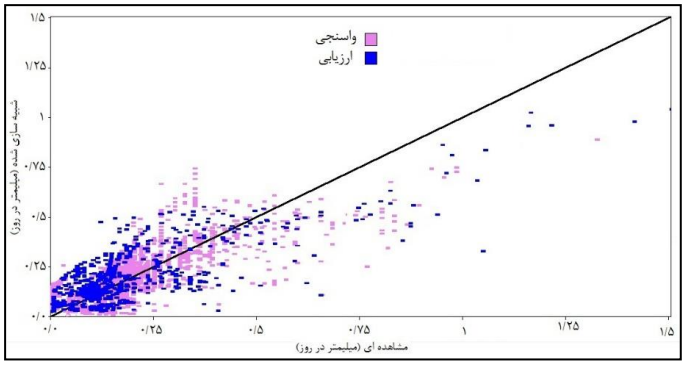
نتایج

با توجه نتایج بدست آمده از مدل‌های مورد مطالعه در حوضه نوده مدل AWBM با ضریب ناش ۰/۷۱ برای واسنجی و ۰/۶۳ برای دوره ارزیابی بهترین کارایی را در بین مدل‌ها دارد و مدل SMAR با ضریب ناش ۰/۴۱۷ و ۰/۳۳۸ به ترتیب برای دوره های واسنجی و ارزیابی پایین‌ترین کارایی را در بین مدل‌های بررسی شده در این مطالعه داشت (جدول ۱) بنابراین تنها نتایج این دو مدل در اینجا ارائه می‌شود. در بین بهینه ساز های موجود در RRL بهینه ساز Pattern search بهترین بهینه ساز برای واسنجی تمامی مدل‌ها تعیین شد.

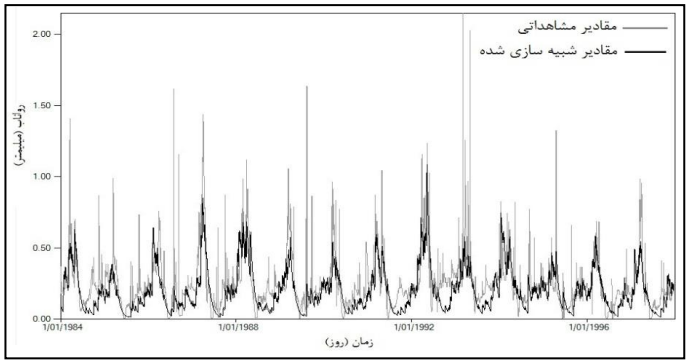
جدول ۱- ضریب ناش برای دوره‌های واسنجی و ارزیابی در مدل‌های مورد مطالعه

	AWBM	sacramento	SimHyd	SMAR	TANK
ضریب ناش(NS) برای واسنجی	۰/۷۱	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۴۱۷	۰/۶۱۳
ضریب ناش(NS) برای ارزیابی	۰/۶۳	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۳۳۸	۰/۵۷۱

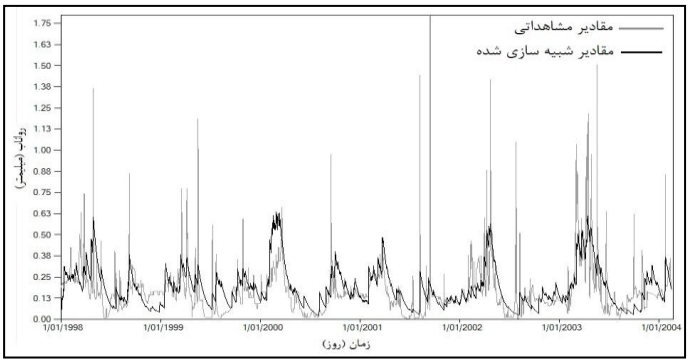
منحنی پراکندگی مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده برای مدل AWBMدر شکل ۲ ارائه شده است. همچنین هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهده ای برای دوره های واسنجی و ارزیابی در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. تفاوت بین منحنی تداوم جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده نیز در شکل‌های ۵ و ۶ نیز ارائه شده است.



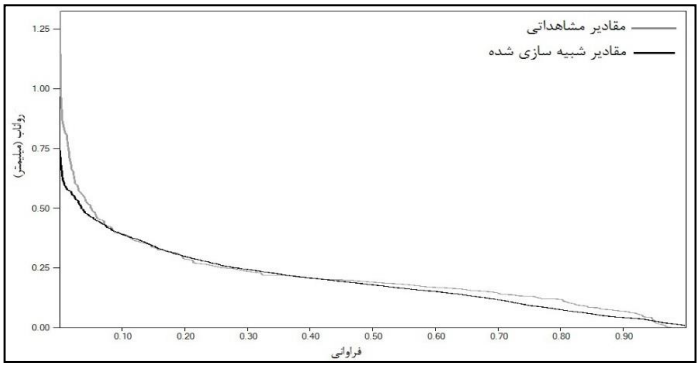
شکل ۲- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی برای مدل AWBM



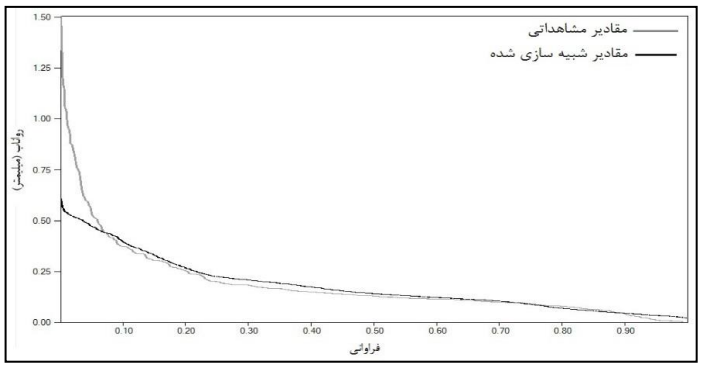
شکل۳- مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده برای واسنجی در مدل AWBM



شکل ۴- مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده برای ارزیابی در مدل AWBM



شکل ۵- منحنی تداوم جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده برای واسنجی در مدل AWBM

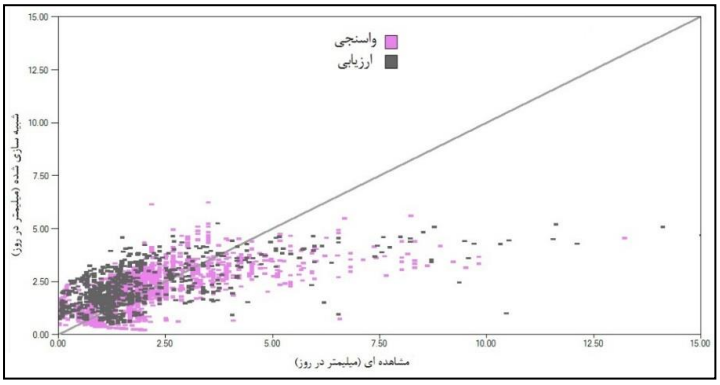


شکل ۶- منحنی تداوم جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده برای ارزیابی در مدل AWBM

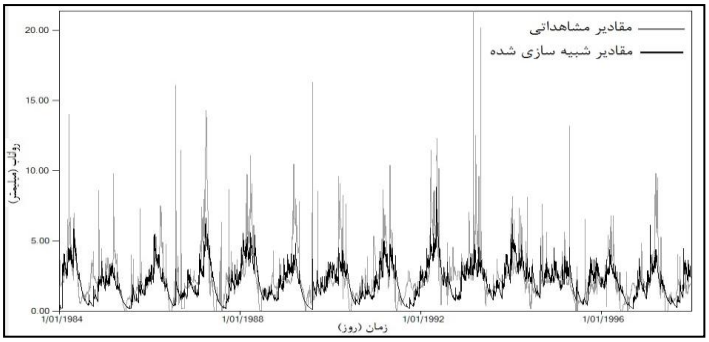
مدل SMAR با توجه به ضریب ناش بدست آمده در دوره های واسنجی و ارزیابی دارای پایین‌ترین کارایی در بین مدل‌های RRL بوده است.

نمودار پراکندگی بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده ای در شکل ۷ نشان داده شده است.

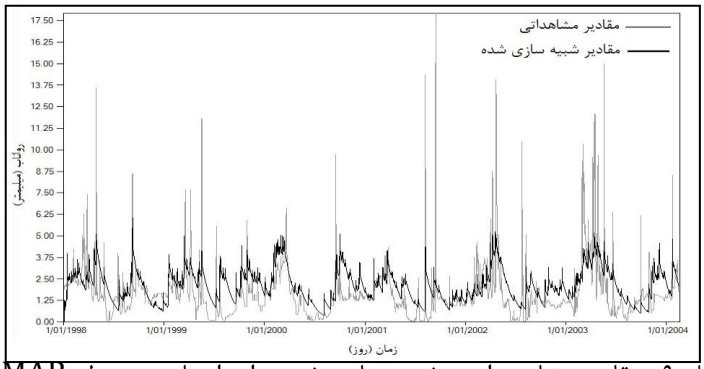
همچنین هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهده‌ای برای دوره های واسنجی و ارزیابی در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است. تفاوت بین منحنی تداوم جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده نیز در شکل‌های۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.



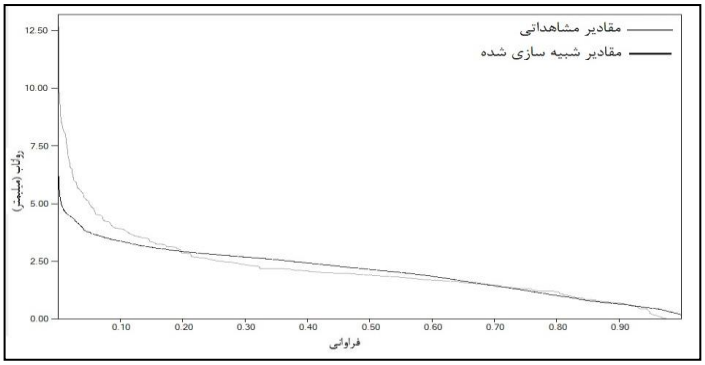
شکل ۷- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی برای مدل SMAR



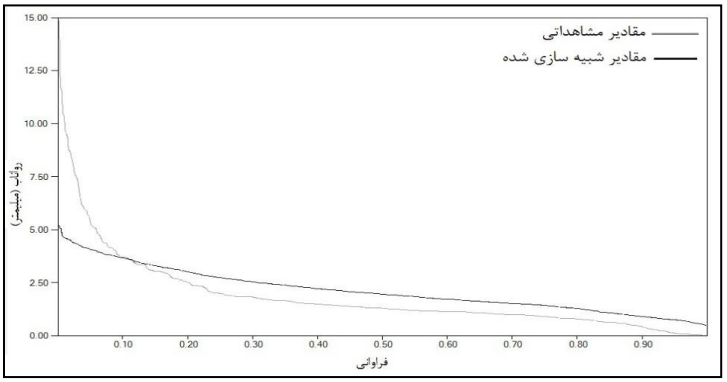
شکل ۸- مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده برای واسنجی در مدل SMAR



شکل ۹- مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده برای ارزیابی در مدل SMAR



شکل ۱۰- منحنی تداوم جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده برای واسنجی در مدل SMAR



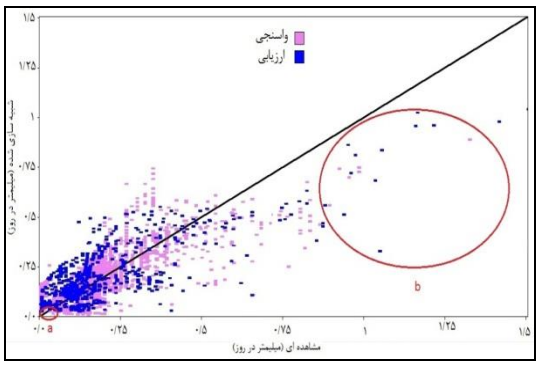
شکل ۱۱- منحنی تداوم جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده برای ارزیابی در مدل SMAR

بحث و نتیجه گیری

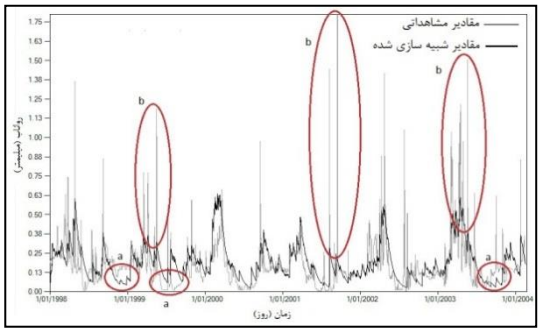
نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از ضریب ناش-ساتکلیف نشان داد که مدل AWBM با ضریب ناش ۰/۶۳ دارای بهترین کارایی و مدل‌های TANK و sacramento با ضریب ناش ۰/۵۷ در رتبه بعدی و مدل SimHyd با ضریب ناش ۰/۵۶ و مدل SMAR با ضریب ناش ۰/۳۳۸ نسبت به سایر مدل‌ها کمترین کارایی را داشته است. همان‌طور که مقادیر ضرایب ناش برای دوره ارزیابی مدل‌ها بالای ۰/۵ است نشان دهنده کارایی نسبتاً خوب تمامی مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. البته این ضریب برای دوره واسنجی مدل‌ها بالای ۰/۵۹ بوده است که نشان دهنده بهینه

سازی قابل قبول مدل‌ها می‌باشد. توجه شود که بین ضرایب ناش برای ارزیابی مدل‌ها تفاوت زیادی دیده نمی‌شود که ممکن است دلیل این موضوع این باشد که تمامی مدل‌ها از نوع مفهومی و یکپارچه می‌باشند و در همه مدل‌ها قسمت‌های مختلف رطوبت خاک عامل اصلی تولید رواناب می‌باشد لذا انتظار می‌رفت مقادیر ضرایب کارایی مدل‌ها نزدیک به هم باشد و تقریباً نتایج شبیه سازی در تمامی مدل‌ها مشابه هم باشد. در انتها می‌توان نتیجه گیری کرد مدل AWBM می‌تواند شبیه سازی قابل قبولی در شرایط کشور ما داشته و قادر است با اطلاعات قابل دسترس پاسخ حوضه های فاقد آمار را محاسبه کرده و از قابلیت خوبی در طراحی و تحقیق برخوردار باشد این نتایج با نتایج سنایی نیا (۲۰۰۰)، شریفی و همکاران (۲۰۰۴)، گودرزی و همکاران (۲۰۱۲) و زرین و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد(۲۴،۲۶،۹،۳۵).

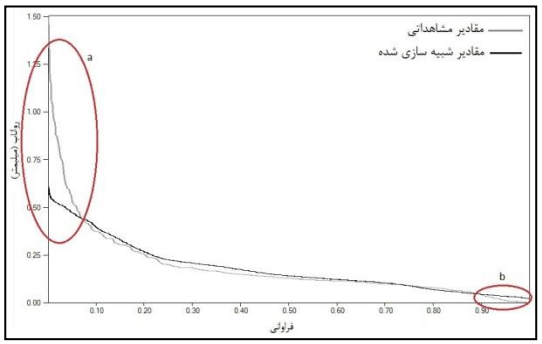
با توجه به گراف‌های پراکندگی، هیدروگراف های شبیه سازی شده و مشاهده ای همچنین منحنی‌های تداوم جریان بدست آمده از مدل‌های بررسی شده می‌توان نتیجه گرفت که این مدل‌ها توانایی قابل قبولی در شبیه سازی مقادیر بیشینه و کمینه در منطقه مورد مطالعه ندارند. به عنوان نمونه گراف‌های بدست آمده برای ارزیابی مدل AWMB در شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است.



شکل ۱۲- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ارزیابی مدل AWBM: دایره a عدم توانایی مدل در شبیه سازی مقادیر کمینه و دایره b عدم توانایی مدل در شبیه سازی مقادیر بیشینه



شکل ۱۳- هیدروگراف مقادیر مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ارزیابی مدل AWBM: دایره a عدم توانایی مدل در شبیه سازی مقادیر کمینه و دایره b عدم توانایی مدل در شبیه سازی مقادیر بیشینه



شکل ۱۴- منحنی تداوم جریان مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ارزیابی مدل AWBM: دایره a عدم توانایی مدل در شبیه سازی مقادیر کمینه و دایره b عدم توانایی مدل در شبیه سازی مقادیر بیشینه

عوامل موثر دیگری در تولید و روندیابی سیل مانند خصوصیات رودخانه اصلی، ضریب زبری، کاربری اراضی منطقه، خصوصیات زمین شناسی و ... نادیده گرفته شده است. پس می‌توان نتیجه گیری کرد از این مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه نمی‌توان برای بررسی خشکسالی و سیل استفاده نمود بلکه تنها برای برآورد مقدار متوسط رواناب در زمینه مدیریت منابع آب استفاده نمود.

برای دوره warup، واسنجی و ارزیابی مدل‌ها در این مطالعه به ترتیب ۱۰، ۴ و ۲ سال در نظر گرفته شد که با بررسی‌های زیادی که با روش آزمون و خطا انجام شد مشخص گردید تنها با این مقدار فواصل زمانی می‌توان نتایج قابل قبولی بدست آورد لذا برای استفاده از این مدل‌ها در RRL فواصل زمانی انتخابی و طول دوره آماری مهم می‌باشد که می‌توان گفت با نتایج لی و همکاران (۲۰۱۰) که تأثیر طول دوره آماری را روی عدم قطعیت مدل SimHyd بررسی کرده است مطابقت دارد. برای واسنجی مقادیر اولیه متغیرهای ورودی به مدل‌ها بهینه ساز جستجوی مستقیم (Pattern search) نسبت به سایر بهینه سازهای موجود در RRL بهترین کارایی را داشت. این الگوریتم به سبب کارایی آسان و نتایج خوب در مسائل مختلف کاربرد زیادی دارد که با نتایج محمدی قلعه‌نی و ابراهیمی (۲۰۱۲) (۱۷) و آدت و دنیس (۲۰۰۲) (۱) مطابقت دارد. در این مطالعه از روش تبخیر و تعرق تورنت وایت استفاده شد دلیل این موضوع در دسترس بودن داده های مورد نیاز برای این روش بوده است. همان‌طور که نشان داده شد این روش تنها از دمای متوسط ماهانه و شاخص حرارتی برای برآورد میزان تبخیر و تعرق استفاده می‌کند. می‌تواند یکی از دلایل وجود عدم قطعیت زیاد در مدل‌های بررسی شده در این مطالعه استفاده از روش تورنت وایت برای برآورد تبخیر و تعرق باشد زیرا که یکی از پارامترهای کلیدی در مدل‌های مورد مطالعه می‌باشد که با نتایج لوری (۲۰۰۵) که روش پن من را برای برآورد تبخیر و تعرق در مدل sacramento پیشنهاد داده است مطابقت دارد(۱۵). کشور ایران از معدود کشورهایی ست که می‌توان اقلیم‌های مختلف را در آن شاهد بود پیشنهاد می‌شود کاربرد و کارایی این مدل در حوضه‌هایی با اقلیم‌های مختلف طی تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

References

1. Audet, C & Dennis Jr, J.E., 2002. Analysis of generalized pattern searches. SIAM Journal on Optimization, 13(3): 889-903.
2. Bashar, K., 2012. Comparative Performance of Soil Moisture Accounting Approach in Continuous Hydrologic Simulation of the Blue Nile. Nile Basin Water Science & Engineering Journal,.5:2. 10 p.
3. Behmanesh, J., A. Jabari, M. Montaseri & H. Rezaei 2014. Comparing AWBM and SimHyd models in rainfall-runoff modeling (Case study: Nazlou Chay catchment in west Azarbijan). 24th Year, 52(4). (In Persian).
4. Boughton, W. 2002. AWBM Catchment Water Balance Model, Calibration and Operation Manual, 30p.
5. Chen, J & B.J, Adams. 2006. Integration of artificial neural networks with conceptual models in rainfall-runoff modeling. J Hydrol 318: 232-249.
6. Chiew F.H.S., M.C. Peel. & A.W. Western. 2002. Application and testing of the simple rainfall-runoff model SIMHYD. In: Mathematical Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publication, and Littleton. Colorado.
7. Clarke, R.T. 1994," Statistical Modelling in Hydrology", John Wiley and Sons.
8. Dovonec. E. 2000. A physically base distributed hydrologic model, Msc Thesis, the Pennsylvania State University.
9. Goodarzi M. R., Zahabiyoun.B , Massah Bavani .A. R & Kamal .A. R . 2012. Performance comparison of three hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD for the runoff simulation of Gharesou basin. Water and Irrigation Management, 2(1). Spring 2012.(In Persian)
10. Hashemi .M & H. Mehrabi. 2007. Developing a rainfall-runoff model using GISConference of Geomatics.
11. Haydon S.& A Deletic. 2007. Sensitivity testing of a coupled Escherichia coli – Hydrologic catchment model. Hydrology. 338: 161-173.
12. Jones Roger N., Hs. Chiew Francis., C. Boughton Walter & L.u. Zhang. 2006. Estimating the sensitivity of mean annual runoff to climate change using selected hydrological models. Advances in Water Resources ،29(10) : 1419-1429.
13. Kamal .A.R. & A.R .Massah Bavani. 2010. Climate Change and Variability Impact in Basin's Runoff with Interference of Tow Hydrology Models Uncertainty. Journal of Water and Soil Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 920-931. In Persian
14. Li Cz., Hao. Wang., Jia. Liu ., Dh. Yan ., Fl. Yu & Lu .Zhang. 2010. Effect of calibration data series length on performance and optimal parameters of hydrological model. Water Science and Engineering ،3(4): 378-393.
15. Lowry, B. 2005. Evapotranspiration estimation methods for Sacramento Soil Moisture Accounting model streamflow prediction. Msc thesis university of New Hampshire.
16. Mahdavi,M. 2006. Applied Hydrology. First volume. University of Tehran. In Persian.
17. Mohammadi Ghaleni . M. & K .Ebrahimi.. 2012 .Evaluation of direct search and genetic algorithms in optimization of muskingum nonlinear model parameters - a flooding of Karoun river, Iran. Water and Irrigation Management, Vol. 2, No. 2, autumn 2012. (In Persian).
18. Moreda, F., 1999. Conceptual rainfall-runoff models for different time steps with special consideration for semi-arid and arid catchments. Laboratory of Hydrology

and Inter-University Program in Water Resources Engineering, Vrije Universiteit Brussels (VUB).
19. National Weather Service .2002. "II.3-SAC-SMA, Conceptualization of the Sacramento Soil Moisture Accounting Model", rfs:23sacsma.wpd, [online], April 12, 2002.
20. NOAA Technical Report NWS 53. 2007. Physically-Based Modifications to the Sacramento Soil Moisture Accounting Model: Modeling the Effects of Frozen Ground on the Rainfall-Runoff Process. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Oceanic and Atmospheric Administration National Weather Service.
21. NOAA Technical Report NWS 53. 2010. Modification of Sacramento Soil Moisture Accounting Heat Transfer Component (SAC-HT) for Enhanced Evapotranspiration. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Oceanic and Atmospheric Administration National Weather Service.
22. O'Connell, P.E., J.E .Nash & J.P. Farrell. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part II . J. hydrol. 10: 317-329.
23. Peel MC, FHS .Chiew., AW. Western & TA. McMahon .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.
24. Sanaei nia,QH, 2000. Evaluation of the simulation model AWBM (rainfall runoff). A thesis submitted for Master of Science at Irrigation and drainage, Islamic Azad University, science and research branch. (In Persian).
25. Sharifi, F& M.J. Boyd. 1994. A Comparision of the SFB and AWBM Rainfall-Runoff Models, 25th Congress of the International Assosiation of Hydrologeologists/ International Hydrology & Water Resources Symposium of the Insitution of Engineers, Australia. ADELAIDE. 21-25 November, Pp: 491-495.
26. sharifi,F. safarpoor .S & S.A. Ayubzadeh,. 2004. Evaluation of AWBM 2002 Simulation Model in 6 Iranian Representative Catchments. Pajouhesh & Sazandegi No: 63:35-42. (In Persian).
27. Sugawara M. 1995. TANK model. In: Singh VP (ed). Cumputer models of watershed hydrology. Water Resources Publication, Littleton, Colorado. pp 177-189.
28. Tahmasebi .R., F. Sharifi ., F .Kaveh & A. Tavassoli. 2010. Designing of Rainwater Collecting Systems in Micro Catchment by Using AWBM Model for Cultivating of Forage Maize SC704. Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 63(3):359—373.(In Persian).
29. Tingsanchali, T & , M.R. Gautam., 2000. Application of tank, NAM, ARMA and neural network models to flood forecasting. Hydrological Processes, 14(14): 2473-2487.
30. Vrugt J. A., V .Gupta Hoshin ., C .Dekker Stefan ., S .Sorooshian & T.B.W. Wagener. 2006. Application of stochastic parameter optimization to the Sacramento soil moisture accounting model. Journal of Hydrology ،325(1): 288-307.
31. Vrugt, J.A., H.V. Gupta., W. Bouten., S. Sorooshian. 2003. A shuffled complex evolution metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrologic model parameters. Water Resour. Res.39 (8), 1201. doi: 10.1029/2002 WR001642

32. Vrugt J. A., V .Gupta Hoshin ., C .Dekker Stefan ., S .Sorooshian & T.B.W. Wagener. 2006. Application of stochastic parameter optimization to the Sacramento soil moisture accounting model. Journal of Hydrology ،325(1): 288-307.

33. Vrugt, J.A., H.V. Gupta., W. Bouten., S. Sorooshian. 2003. A shuffled complex evolution metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrologic model parameters. Water Resour. Res.39 (8), 1201. doi: 10.1029/2002 WR001642
34. Yapo, P.O., H.V. Gupta., S .Sorooshian. 1996. Calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data. J. Hydrol. 181, 23–48.
35. Yokoo Y, S. Kazama., M. Sawamoto & H. Nishimura. 2001. Regionalization of lumped water balance model parameters based on multiple regression. J Hydrol 246: 209-222.
36. Yue S, & M. Hashino, 2000. Unit hydrographs to model quick and slow runoff components streamflow. J Hydrol 227: 195-206.
37. Zarin,H., A.R Moghaddamnia., J. Nam Dorost & A .Mosaedi . 2013. Simulation of outlet runoff in ungauged catchments by using AWBM Rainfall-Runoff Model. J. of Water and Soil Conservation,. 20(2).(In Persian).