

مقایسه کارایی روش‌های برآورد تلفات در شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب حوضه‌ی آبخیز

کارون ۳

هما رزمخواه^۱، علی محمد آخوندعلی^۲، بهرام ثقفیان^۳ و فریدون رادمنش^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۸

چکیده

با توجه به تاثیر بارش روش تلفات نفوذ در عملکرد شبیه بارش-رواناب به منظور کاهش خطا و واریانس ویژگی‌های سیلاب، و در پیامد آن، افزایش دقت و کارایی طراحی‌های مبتنی بر خصوصیات استخراجی سیلاب حاصل از شبیه بارش-رواناب، نظیر حجم رواناب، بدهی اوج و زمان رسیدن به آن، عملکرد شبیه‌های نفوذ سازمان حفاظت خاک آمریکا، گرین و امپت، تلفات اولیه‌ی-مقدار ثابت، نسبت ثابت، نمایی و شبیه دربردارنده‌ی شرایط رطوبتی خاک در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه‌ی آبخیز کارون ۳ با کاربرد نرم افزار HEC-HMS مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج روش دربردارنده‌ی شرایط رطوبتی خاک را با بیش-ترین میانگین ضریب ناش-ساتکلیف ۰.۸۱ در واسنجی و ۰.۶۹ در ارزیابی، برتر از سایرین نشان داد. این شبیه از کمترین مجموع مربعات خطای وزنی ۱۴۸ و ۱۴۳ در واسنجی و ارزیابی برخوردار بود. شبیه‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا و نسبت ثابت در رده‌های بعدی قرار گرفتند. مقایسه‌ی متغیرهای کلیدی شبیه سازی شده با مقادیر مشاهداتی نشان داد که روش دربردارنده‌ی شرایط رطوبتی خاک از کمترین درصد خطای شبیه سازی حجم، بدهی اوج در واسنجی، و ارزیابی برخوردار است. مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا در شبیه سازی بدهی اوج در ارزیابی با دربردارنده‌ی شرایط رطوبتی خاک برابری کرد، اما تلفات اولیه‌ی-مقدار ثابت، و گرین و امپت در زمان رسیدن به بدهی اوج برتر بودند.

واژه‌های کلیدی: سازمان حفاظت خاک آمریکا، گرین و امپت، تلفات اولیه-مقدار ثابت، نمایی، دربردارنده‌ی شرایط رطوبتی خاک.

^۱- دانشجوی دکترای هیدرولوژی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲- هیات علمی دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳- هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

*- نویسنده مسئول: HomaRazmkhah@gmail.com

مقدمه

شبیه‌سازی بارش-رواناب با نرم افزار HEC-HMS از کاربرد گسترده‌ای در طرح‌های مدیریت سیلاب و سیلابدشت (پینکووسچی و همکاران، ۲۰۰۷)، طراحی و ارزیابی مخازن و سازه‌های هیدرولیکی (امرسون و همکاران، ۲۰۰۵)، هشدار سیلاب (شیندلر و گاتنچ، ۲۰۰۶)، مهندسی رودخانه و تغییر اقلیم (کوندریک و سیمونویک، ۲۰۰۴)، تغییر کاربری اراضی (مکلین و همکاران، ۲۰۰۱)، تغییرات پاسخ آشناسی بر اثر آتش سوزی (سیدزیک و هوگو، ۲۰۰۹) برخوردار شده است. این مدل در مقایسه با شبیه‌های REW، SMAR و TANK عملکرد بهتری نشان داده است (کوان، ۲۰۰۶؛ و آیکا، ۲۰۰۸). شبیه‌های مذکور به منظور شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب برای تعیین ویژگی‌های سیلاب حاصل از بارندگی، از جمله حجم سیلاب، بدهی اوج، زمان وقوع بدهی اوج و توزیع زمانی بدهی خروجی از حوضه یا همان آبنگار سیلاب، استفاده می‌گردد.

در شبیه‌های بارش-رواناب، فرایندهای حاکم بر چرخه‌ی آشناسی، با استفاده از معادلات ریاضی و حل عددی آنها، شبیه‌سازی می‌گردند. روند تکمیل شبیه‌های مزبور به گونه‌ای بوده است که فرضیات و ساده‌سازی چرخه کمتر شده، فرایندهای حاکم بر چرخه در مدار نیواری، جریان سطحی و زیر سطحی، آبهای زیرزمینی بطور کاملتری در شبیه وارد شوند، به صورتی که اختلاف مقادیر مشاهداتی و محاسباتی حاصل از ساده‌سازی فرایندهای مزبور به حداقل ممکن برسد. شبیه‌های بارش-رواناب ابتدا در قرن نوزدهم، با تدوین شبیه استدلالی، که مستقیماً بدهی اوج را با توجه به بارش، مساحت حوضه و ضریب رواناب محاسبه می‌کند، ارائه گشت. ضریب رواناب در رابطه‌ی فوق، عهده دار همان نقش فراسنج شبیه است که بیانگر تغییرات مکانی خصوصیات حوضه می‌باشد. مشکل روش استدلالی، اختصاص یک مقدار خاص به این فراسنج بود، در حالی که این ضریب نه تنها دارای تغییرات مکانی است، بلکه حجم رواناب و شرایط رطوبتی اولیه خاک حوضه قبل از بارش، نیز بر آن تأثیر گذار است. یکی از فرایندهای اصلی و موثر بر رواناب سطحی، نفوذپذیری اولیه و نهایی خاک است

که در قالب شبیه‌های مختلف تلفات، از جمله SCS، هورتون^۱، فیلیپس^۲، گرین و امپت^۳، اولیه‌ی-پیوسته با نرخ ثابت^۴، کمبود اولیه-نرخ ثابت^۵، شبیه تلفات نسبی^۶، و غیره در شبیه‌های بارش-رواناب وارد شده است. همان‌طور که می‌دانیم، نفوذپذیری خاک در ابتدا تابعی از میزان رطوبت اولیه آن است. تأثیر رطوبت اولیه در حجم رواناب تولیدی به نحوی است که در شرایط خشکی خاک، با وجود وقوع بارش‌های قابل توجه، روانابی در خروجی حوضه مشاهده نشده است. همچنین، در شرایط نزدیک به اشباع خاک، وقوع بارش‌های خفیف نیز منجر به تولید سیلاب‌های قابل ملاحظه گردیده است. غالب معادلات تلفات مورد استفاده، شبیه‌هایی تجربی می‌باشند، که فرایندهای فیزیکی حاکم بر نفوذ آب در خاک در آنها لحاظ نشده‌اند. در روابطی نظیر SCS، رطوبت اولیه‌ی خاک به صورت یک ضریب تجربی وارد شبیه شده که سه حالت رطوبتی خشک، متوسط و اشباع به آن تعلق گرفته، و سایر درصدهای رطوبتی در یکی از زیرمجموعه‌های مذکور جای می‌گیرند، که خود باعث خطای شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک می‌گردد (پونس و هاوکینز، ۱۹۹۶). با توجه به حساسیت میزان رواناب سطحی به نفوذپذیری اولیه و نهایی خاک، تلاش محققین در راستای تکمیل معادلات نفوذ و لحاظ هر چه بیشتر فرایندهای فیزیکی حاکم بر این زیرمجموعه از چرخه‌ی آشناسی، ادامه یافت. شبیه تلفات SMA^۷ از نتایج تلاش‌های مزبور بود. شبیه مذکور کلیه‌ی فرایندهای تلفات حاکم بر چرخه‌های آشناسی از جمله برگاب، چالاب، نفوذ آب به داخل خاک و تشکیل جریان زیر سطحی، نفوذ عمقی، و پیوستن به لایه‌ی بالایی آبهای زیرزمینی و تشکیل جریان پایه به روش مخزن خطی و نفوذ عمیقتر، و پیوستن به سفره‌ی پایینی آبهای زیرزمینی را با در نظر گرفتن رطوبت اولیه، و حداکثر ظرفیت اشباع هر یک از لایه‌های فوق، شبیه‌سازی می‌کند؛ بنابراین، از قابلیت

¹- Horton

²- Philips

³- Green and Ampt

⁴- initial and constant rate

⁵- deficit and constant loss

⁶- constant fraction

⁷- soil moisture accounting (SMA)

نگار سیل و ارتفاع رواناب به ترتیب مربوط به شبیه‌های تلفات پیوسته و SCS بود. تحقیقات دیگری با استفاده از این شبیه از جمله تاثیر روشهای نفوذ بر بدهی آستانه (گلیان و همکاران، ۲۰۱۰) و واسنجی شبیه با کاربرد الگوریتم ژنتیک (رضوی و موسوی، ۱۳۸۷) صورت گرفته است. غفوری (۱۳۸۸) نیز به ارزیابی روشهای مفهومی و فازی در شبیه‌سازی جریان رود پرداخت. در این تحقیق، شبیه‌سازی مفهومی با کاربرد نرم افزار HEC-HMS و شبیه تلفات SMA در حوضه‌ی آبخیز کارون ۳ انجام پذیرفت. نتایج نشان دهنده‌ی افزایش دقت تخمین نتایج شبیه‌سازی با لحاظ شبیه ذوب برف بود. همچنین، شبیه HEC-HMS عملکردی بهتر را از شبیه یادگیری فعال فازی مورد استفاده در بازه‌ی زمانی چندین ساله نشان داد.

با توجه به تأثیر بارز تلفات نفوذ در عملکرد شبیه‌های بارش-رواناب به منظور کاهش خطا و واریانس، و افزایش دقت و کارایی طرحهای مبتنی بر خصوصیات سیلاب، نظیر حجم رواناب، بدهی اوج و زمان رسیدن به بدهی اوج، شبیه‌های نفوذ تک واقعه SCS، گرین و امپت (GA)، تلفات اولیه-مقدار ثابت (IC)، نسبت ثابت (CF)، شبیه نفوذ نمایی^۱ (Exp) و شبیه پیوسته SMA به وسیله‌ی HEC-HMS در این مقاله مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

مواد و روشها

شبیه تلفات SCS به فراسنجهای مرتبط با گروه آبشناسی خاک، کاربری اراضی و رطوبت پیشین خاک، بستگی دارد. در این شبیه بارندگی مازاد تابعی از بارندگی، کاربری اراضی و رطوبت پیشین است که به صورت رابطه‌ی (۱) نوشته می‌شود:

$$P_e = \frac{(p - I_a)^2}{P - I_a + s} \quad (1)$$

که در آن P_e بارش مازاد تجمعی در زمان t ، P بارش تجمعی در زمان t ، I_a تلفات اولیه، و S حداکثر نگهداشت آب در خاک است. سازمان حفاظت خاک آمریکا رابطه (۲) را بین تلفات اولیه و ظرفیت نگهداشت

بالایی در محاسبه‌ی نفوذ، جریان زیرسطحی، جریان پایه، و پیامد آن، آبشناسی شبیه سازی شده‌ی جریان، برخوردار است. این مدل پیوسته در ویرایشهای جدید نرم افزار HEC-HMS، ارائه شده به وسیله‌ی انجمن مهندسی ارتش آمریکا، از جمله ۳.۵ گنجانده شده است (US-ACE, 2010).

در زمینه‌ی مقایسه کارایی روشهای مختلف تلفات تحقیقات اندکی در منابع یافت شد. در این میان می‌توان به تحقیق بوتون و دروپ (۲۰۰۳) اشاره کرد، که در مقایسه‌ی بین روش تلفات SCS و گرین امپت نشان دادند که در وقایعی با رواناب مازاد بیش از ۱ اینچ روش SCS برتر است، اگرچه در ۶ واقعه از وقایع مورد بررسی روش گرین - امپت عملکرد بهتری را داشت. کینگ و همکاران (۱۹۹۹) نیز دو روش SCS و گرین امپت اصلاح شده به وسیله‌ی مین-لارسون را مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که روش SCS رواناب را کمتر از میزان واقعی تخمین می‌زند، در حالی که گرین-امپت مین-لارسون از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. چاهینیان و همکاران (۲۰۰۵) نیز در تحقیقی که به منظور بررسی تاثیر مدیریتهای مختلف خاک بر تولید رواناب انجام گرفت، روشهای تلفات فیلپس، مورل-سیتوکس، هورتون و SCS را مقایسه کرده و نشان دادند که روش مورل-سیتوکس بهترین و SCS عملکرد را به همراه داشته است. در ایران نیز می‌توان به تحقیق اسماعیلی (۱۳۸۷) اشاره کرد که به ارزیابی شبیه‌های تلفات بارش ضریب ثابت، نرخ ثابت تلفات، اولیه - پیوسته و روش SCS در تخمین آب نگار سیلاب در حوضه‌ی امامه، با استفاده از HEC-HMS پرداخت. نتایج نشان دادند که شبیه تلفات اولیه - پیوسته در برآورد بدهی اوج و حجم سیل، از عملکرد بهتری نسبت به سایر شبیه‌ها برخوردار است. سید کابلی (۱۳۸۷) نیز به ارزیابی شبیه‌های تلفات بارش پیوسته یا شاخص فی، اولیه - پیوسته، SCS و ضریب ثابت در حوضه‌ی آبخیز کسلیان پرداخت. در این تحقیق، سه شبیه محاسبه‌ی رواناب مستقیم آب نگار واحد کلارک، SCS و اشنایدر جهت شبیه سازی آب نگار سیل به کار رفت، و از شبیه منحنی افت برای محاسبه‌ی جریان پایه استفاده شد. نتایج نشان دادند که بیشترین و کمترین متوسط خطای نسبی پیش بینی بدهی اوج آب

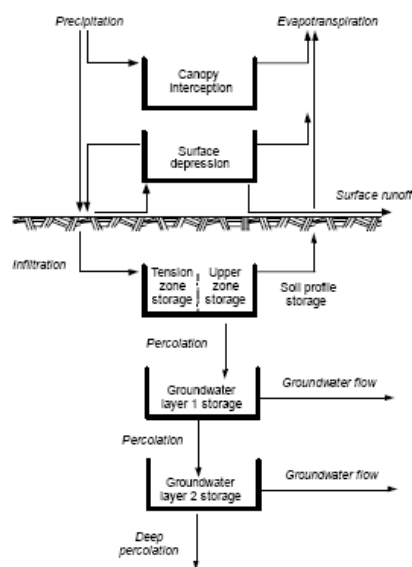
^۱ - exponential (Exp)

شبیه گرین و امپت، شبیه مفهومی نفوذ بارش است که انتقال باران را در نیمرخ خاک، و ظرفیت نفوذ را با ترکیب معادله‌ی بقای جرم و قانون دارسی، با کاربرد معادله‌ی ریچاردز، محاسبه می کند. این شبیه تلفات بارش را از رابطه‌ی (۷) محاسبه می کند.

$$f_t = K \left[\frac{1 + (\theta - \theta_i) S_f}{F_t} \right] \quad (۷)$$

که f_t نفوذ در زمان t ، K ضریب هدایت آبی، $(\theta - \theta_i)$ کمبود حجم رطوبتی، S_f مکش جبهه رطوبتی، و F_t مقدار تجمعی تلفات در زمان t می باشد.

شبیه SMA با استفاده از یک گروه لایه‌ی ذخیره کننده، شکل (۱)، حوضه‌ی آبخیز را شبیه سازی می کند. نرخ آبهای ورودی و خروجی و ظرفیت ذخیره‌ی لایه، مهار کننده‌ی میزان آب از دست رفته، یا اضافه شده به ذخیره‌ی لایه ها است.



شکل ۱. طرح واره و طرح الگوریتم رطوبتی خاک

(بنت، ۱۹۹۸)

بارش، به عنوان ورودی سامانه‌ی ذخیره است، که ذخیره-های برگابی و چالابی را تامین کرده، و مازاد آن برای نفوذ در دسترس قرار می گیرد. حجم نفوذ تابع حجم آب موجود، حالت نیمرخ خاک، و حداکثر نرخ نفوذ است. در هر گام، توان نفوذ (PotSoilInfil) از (۸) محاسبه می شود:

$$\text{PotSoilInfil} = \text{MaxSoilInfil} - \frac{\text{CurSoilStore}}{\text{MaxSoilStore}} \text{MaxSoilInfil} \quad (۸)$$

برای حوضه های کوچک ارائه کرده، که با جایگزینی آن در رابطه‌ی (۱) معادله‌ی بارندگی مؤثر به صورت (۳) درمی آید. حداکثر نگهداشت آب و خصوصیات حوضه از طریق شماره‌ی منحنی به هم مربوط می شوند؛ رابطه‌ی (۴)، (واحدها بر حسب میلیمتر):

$$I_a = 0.2S \quad (۲)$$

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (۳)$$

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (۴)$$

که CN شماره‌ی منحنی است، تابعی از کاربری اراضی، نوع خاک و رطوبت پیشین، و تخمین اولیه‌ی آن با توجه به نقشه‌های قابلیت و کاربری اراضی، و مقادیر پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا تعیین گردید. برآورد مقدار تلفات اولیه با استفاده از مقادیر ثبت شده‌ی بارندگی، رواناب و محاسبه ظرفیت نگهداشت با کاربرد روابط فوق برای هر واقعه، صورت گرفت.

شبیه تلفات اولیه - تلفات پیوسته، شامل دو

فراسنج نرخ ثابت^۱ و تلفات اولیه^۲ است. تلفات اولیه بیانگر مؤلفه های ذخیره، گیرش و شرایط رطوبتی حوضه است که به کاربری اراضی و رفتار خاک بستگی دارند. نرخ ثابت بخشی از تلفات است که در سراسر بارش ثابت می ماند(اسماعیلی، ۱۳۸۷). با توجه به وقایع رگبار به ثبت رسیده، مقدار تلفات اولیه برابر با ارتفاع بارندگی بین زمان شروع بارش و آغاز رواناب لحاظ، و تلفات پیوسته از رابطه‌ی (۵) محاسبه شد:

$$\text{تلفات پیوسته} = \frac{PR - R}{TR} \quad (۵)$$

که PR: حجم بارندگی پس از کسر تلفات اولیه، R: حجم رواناب و TR: مدت بارش بدون در نظر گرفتن زمان تلفات اولیه است.

شبیه ضریب ثابت، تلفات را نسبتی ثابت از بارندگی به ازاء هر بازه‌ی زمانی در نظر می گیرد. مقدار ضریب تلفات با استفاده از رابطه‌ی (۶) محاسبه می شود (اسماعیلی، ۱۳۸۷):

$$\text{بارندگی/رواناب} = \text{رواناب ضریب} \quad (۶)$$

^۱-constant rate

^۲-initial loss

- تعرق بالقوه‌ی ماهانه‌ها کاربرد روش تشتک تبخیر محاسبه می‌گردد. ET بالقوه ابتدا از ذخیره‌ی برگابی، سپس ذخیره‌ی سطحی، و در انتها از نیمرخ خاک تامین می‌شود. ET واقعی، درصدی از ET بالقوه، از (۱۳) محاسبه می‌گردد.

$ActEvapSoil = PotEvapSoil \cdot f(CurSoilStore, MaxTenStore)$ (13)
که $ActEvapSoil$: مقدار ET واقعی از ذخیره‌ی خاک، $PotEvapSoil$: ET بالقوه و $MaxTenStore$: حداکثر ذخیره-ی ناحیه کششی است. تابع $f(*)$: وقتی ذخیره‌ی رطوبت بیشتر از حداکثر ذخیره‌ی ناحیه کششی است، آب با نسبت یک به یک از ذخیره سطحی و برگابی برداشت شده، و وقتی به ناحیه‌ی کششی محدود گردد، تبخیر - تعرق کاهش می‌یابد.

منطقه‌ی مورد مطالعه: حوضه‌ی آبخیز کارون ۳ در جنوب غربی ایران در حد فاصل طول شرقی ۳۰° ۴۹ تا ۵۲° و عرض شمالی ۳۰° تا ۳۲° ۳۰، قرار گرفته است. وسعت حوضه تا ایستگاه پل شالو (شامل زیر حوضه‌های خرسان و کارون علیا) حدود ۲۴۲۰۲ کیلومتر مربع است که بیش از ۵۰ درصد حوضه در ارتفاعات بالای ۲۴۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته و برفگیر می‌باشد. محدوده‌ی حوضه، نقشه‌ی رقومی ارتفاع و آبراهه‌های اصلی در شکل ۲ آمده‌اند. وضعیت بارش منطقه، مدیترانه‌ای است. بیش از ۹۵٪ بارش در فاصله‌ی آبان لغایت اردیبهشت، و حداکثر بارش در دی یا بهمن اتفاق می‌افتد (غفوری، ۱۳۸۸). در مناطق شرقی حوضه، دشت بروجن در ارتفاع ۲۲۰۰ و شهرکرد در ارتفاع ۲۱۰۰ متر قرار گرفته، دیگر نواحی شمالی و شرقی از کوهستانهای متراکم تشکیل شده است. ارتفاع حوضه از ۷۰۰ متر در تقاطع با رود دز (ایستگاه پل شالو) شروع و به ارتفاعات ۴۵۰۰ متری دنا و کوه‌رنگ ختم می‌گردد. شکل ۳، نقشه‌ی قابلیت اراضی حوضه‌ی آبخیز کارون ۳ را نشان می‌دهد، که با کاربرد نرم افزار ARC MAP تهیه شده است. شکل ۴ نیز بازه‌ی زمانی از بدهی روزانه‌ی ایستگاه پل شالو، واقع در خروجی حوضه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بدهی پایه جریان غالب در این منطقه کوهستانی است.

که $PotSoilInfil$: توان نفوذ آب در خاک، $MaxSoilInfil$: حداکثر نرخ نفوذ، $CurSoilStore$: حجم آب ذخیره شده در ابتدای گام زمانی، و $MaxSoilStore$: حداکثر حجم ذخیره است. نرخ نفوذ واقعی برابر با حداقل آب موجود است. **نفوذ عمقی** (Percolation)، نفوذ از نیمرخ خاک به لایه‌های عمیقتر، یا سفره‌ی آب زیرزمینی است، که وابسته به حجم آب ذخیره شده در لایه‌های مبدا و مقصد است. نفوذ عمقی از ذخیره‌ی خاک به لایه‌ی آب زیرزمینی اول از (۹) محاسبه می‌شود:

$$PotSoilPerc = MaxSoilPerc \left(\frac{CurSoilStore}{MaxSoilStore} \right) \left(1 - \frac{CurGWStore}{MaxGWStore} \right) \quad (9)$$

که $PotSoilPerc$: نرخ نفوذ عمقی در حد توان، $MaxSoilPerc$: حداکثر نرخ نفوذ عمقی، $CurSoilStore$: ذخیره‌ی اولیه خاک، $MaxSoilStore$: حداکثر ذخیره‌ی خاک $CurGWStore$: ذخیره‌ی اولیه‌ی آب زیر زمینی، و $MaxGWStore$: حداکثر ذخیره‌ی آب زیر زمینی است. آب موجود برای نفوذ عمقی برابر با ذخیره‌ی اولیه‌ی خاک به علاوه‌ی آب نفوذ یافته از سطح است. توان نفوذ از لایه‌ی اول به دوم از (۱۰) محاسبه می‌گردد:

$$PotGWPerc = MaxGWPerc \left(\frac{CurGWStore}{MaxGWStore} \right) \left(1 - \frac{CurGWStore}{MaxGWStore} \right) \quad (10)$$

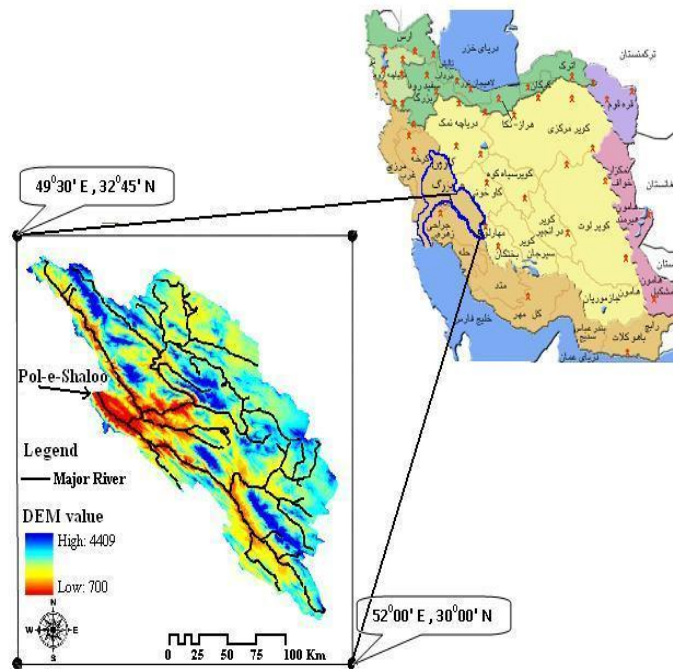
که $MaxGWPerc$: حداکثر نرخ نفوذ عمقی، $CurGWStore$: ذخیره‌ی اولیه‌ی آب زیر زمینی لایه‌ی دوم، و $MaxGWStore$: حداکثر ذخیره است. آب مازاد بر نفوذ و ذخیره‌ی گودالی، تشکیل دهنده‌ی رواناب سطحی است. جریان آب زیر زمینی مجموع جریان لایه‌ها در انتهای بازه است و از (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$GWFlow_{t+1} = \frac{ActSoilPerc + CurGW_iStore - PotGWPerc - 0.5GWFlow_t \cdot TimeStep}{RoutGW_iStore + 0.5TimeStep} \quad (11)$$

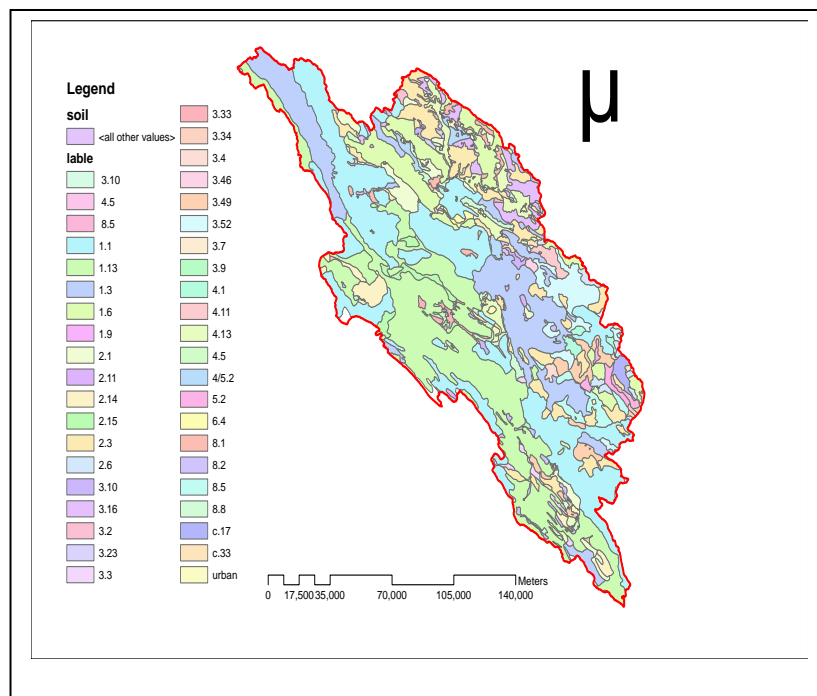
که $GWFlow_t$ و $GWFlow_{t+1}$: نرخ جریان در ابتدای بازه t و $t+1$ ، $ActSoilPerc$: نرخ نفوذ واقعی از نیمرخ خاک، $PotGWPerc$: توان نفوذ از لایه i ، $RoutGW_iStore$: ضریب روند یابی و $TimeStep$: گام زمانی است. نرخ جریان آب زیر زمینی، ($GWFlow$)، از (۱۲) محاسبه می‌شود، این حجم به عنوان ورودی مخزن خطی عمل کرده، جریان پایه را شبیه سازی می‌کند:

$$GW \text{ Volume} = \frac{1}{2} (GWFlow_{t+1} + GWFlow_t) \cdot TimeStep \quad (12)$$

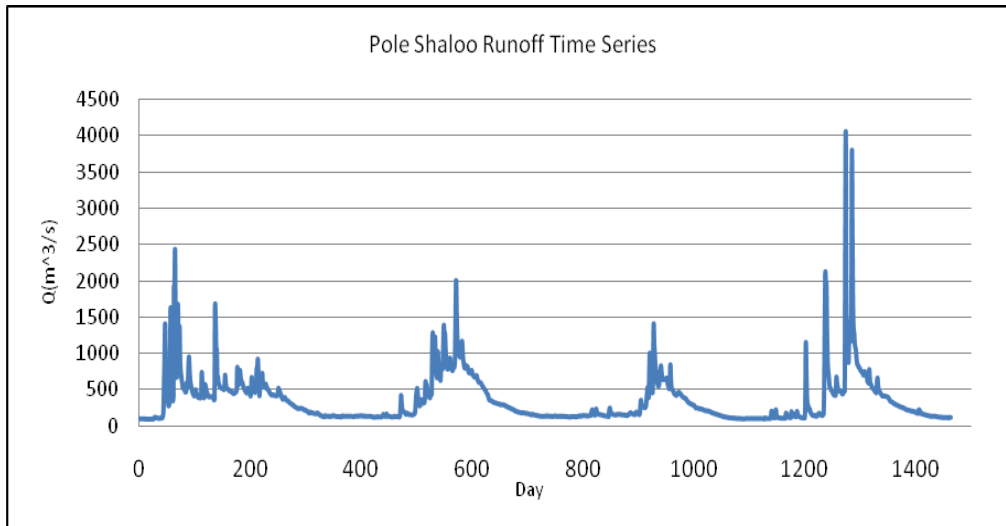
تبخیر - تعرق (ET)، موجب تلفات از گیرش برگابی، ذخیره سطحی و نیمرخ خاک می‌شود. در SMA تبخیر



شکل ۲. موقعیت حوضه‌ی کارون ۳، نقشه‌ی رقومی ارتفاع و آبراهه‌ی اصلی (غفوری، ۱۳۸۸).



شکل ۳. نقشه‌ی قابلیت اراضی حوضه‌ی آبخیز کارون ۳.



شکل ۴. گروه زمانی بدهی روزانه در ایستگاه پل شالو واقع در خروجی حوضه

ویژگی‌های گیتاشناسی زیر حوضه‌های کارون ۳ در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱. ویژگی‌های گیتاشناسی زیر حوضه‌های کارون ۳.

نام زیر حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	حداقل ارتفاع حوضه (متر)	حداکثر ارتفاع حوضه (متر)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	شیب میانگین حوضه (درصد)	ضریب منحنی میانگین	طول رودخانه اصلی (کیلومتر)
بهشت آباد	۳۹۶۳	۱۶۵۴	۳۷۱۶	۲۳۲۵	۳	۸۸	۲۷۹
آب ونک	۳۱۲۶	۱۱۳۲	۳۸۶۲	۲۴۹۶	۳.۵	۸۸	۲۵۰
ماربر	۴۳۲۰	۱۳۸۸	۴۳۸۷	۲۴۳۷	۳.۵۶	۸۸	۳۱۰
بشار	۳۰۵۸	۱۳۵۱	۴۴۱۵	۲۲۵۶	۴.۵۵	۷۸	۴۵۰
خرسان میانی	۱۶۷۳	۷۸۱	۳۶۴۶	۲۰۴۶	۵.۶۹	۷۳	۵۰۰
میانی بالادست	۱۵۱۴	۱۱۳۷	۳۹۷۹	۲۳۶۱	۵.۲	۸۵	۲۰۰
میانی پایین دست	۷۹۵	۸۹۰	۳۱۵۲	۱۹۹۰	۵.۵	۷۲	۲۱۰
کوه‌رنگ	۱۲۷۸	۱۶۵۸	۴۱۷۴	۲۶۷۲	۵.۱۴	۸۹	۶۲۰
بازفت	۲۱۹۴	۸۶۲	۴۰۶۳	۲۲۰۸	۵.۸	۸۵	۶۷۰
لردگان	۱۶۹۷	۷۸۴	۳۶۲۱	۱۹۸۰	۴.۲	۷۶	۲۱۰
پل شالو	۷۷۸	۶۹۰	۳۲۰۰	۱۴۲۰	۵.۵	۷۸	۲۱۰

آمار ایستگاه بده سنجی پل شالو، خروجی حوضه، برای رواناب مورد استفاده قرار گرفت. داده‌ها با کاربرد آزمونهای آماری بررسی و بازسازی گردیدند. جدول ۵ مقادیر بدهی مشاهداتی متناظر را با وقایع بارش رواناب نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

به منظور تنظیم شبیه HEC-HMS، حوضه‌ی آبخیز کارون ۳ به ۱۱ زیر حوضه‌ی اصلی تقسیم شد، که از طریق عنصر تقاطع به بازه‌های رودخانه و خروجی حوضه متصل شدند. شکل ۵ طرح واره‌ی حوضه‌ی آبخیز کارون ۳ را در نرم افزار HEC-HMS نشان می‌دهد.

با توجه به این که داده‌های بارش و بده به ثبت رسیده‌ی شبیه روزانه اند، شبیه ابتدا با گام زمان روزانه اجرا شده، و مقادیر شاخصهای ارزیابی عملکرد شبیه نظیر ناش - ساتکلیف، و مجموع مربعات خطا محاسبه گردیدند. سپس شبیه در سایر گامهای زمانی ۱۲، ۶، ۳، ۲، ۱، ۰.۵ و ۰.۲۵ ساعت اجرا شد، و مقادیر شاخصهای ارزیابی عملکرد شبیه در سایر گامهای زمانی نیز محاسبه گردیدند. مشاهده شد که بهترین عملکرد شبیه در گام زمانی ۳ ساعته به دست می‌آید. گفتنی است که مدل نفوذ SCS، شبیه‌ی روزانه است و در گامهای زمانی پایینتر از دقت آن به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود، که نتایج حاصله نیز مؤید این نکته می‌باشند. بارش و بده نیز برای گامهای زمانی سه ساعته با استفاده از روش درون یابی با کاربرد شبیه تخمین زده می‌شوند. برای اجرای شبیه دربردارنده-ی شرایط رطوبتی خاک نیز شبیه به صورت خودکار از گام زمانی برابر با مقدار اختصاص یافته به وسیله‌ی کاربر، و یا کسری از آن استفاده می‌کند، بطوری‌که معیارهای محاسباتی این شبیه رعایت شوند. توضیحات بیشتر در رابطه با نحوه‌ی انتخاب گام زمانی به وسیله‌ی شبیه در USACE, 2000، ارائه شده اند.

فراسنجهای مدل: اندازه‌گیری‌های مستقیمی برای ذخیره‌ی برگابی در مورد گونه‌های مختلف پوشش گیاهی صورت گرفته‌اند، جدول ۲ تخمین اولیه‌ی حداکثر ذخیره‌ی، چالابی را پیشنهاد می‌کند. برای یک خاک مشخص می‌توان محدوده‌ای تقریبی را برای نرخ نفوذ حداکثر با استفاده از هدایت آبی خاک به دست آورد. برای کوچک کردن محدوده می‌توان نرخ نفوذ حداکثر را برابر با هدایت آبی اشباع در نظر گرفت (US-ACE, 2000). غالب فراسنجهای شبیه SMA در فرآیند واسنجی تعیین می‌گردند (بنت، ۱۹۹۸).

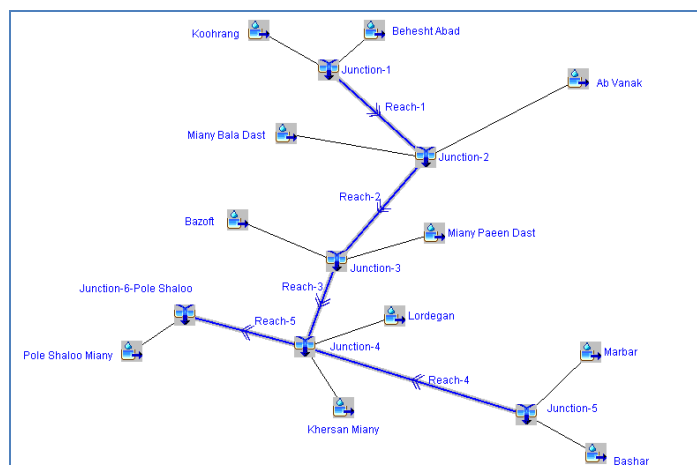
نرم افزار HEC-HMS از قابلیت واسنجی خودکار، با به حداقل رساندن توابع هدف، برخوردار است، اما به دلیل غیر منطقی بودن نتایج حاصله در غالب موارد، در تحقیق حاضر از واسنجی دستی جهت تعیین مقادیر فراسنجهای، با کاربرد معیارهای ناش - ساتکلیف (NS)، و مجموع مربعات خطای وزنی^۱ (PW RMSE)، استفاده شد.

علم به چگونگی تغییرات زمانی و مکانی بارش، از عوامل کلیدی در انتخاب ایستگاهها و وقایع بارش-رواناب، جهت واسنجی و ارزیابی شبیه است. از میان ۳۰ ایستگاه موجود در حوضه، ۱۹ ایستگاه باران سنجی انتخاب شدند، به گونه‌ای که از بازه‌های زمانی مشترک ثبت داده برخوردار باشند، ضمناً بیانگر تغییرات مکانی وضعیت بارش در سطح حوضه نیز بوده و وقایع منتخب حتی الامکان از نظر زمانی مستقل از یکدیگر باشند. (جدول ۳).

جهت انتخاب وقایع منفرد بارش-رواناب مناسب واسنجی و ارزیابی، داده‌های بده‌ی روزانه به مقادیر بالاتر از بده‌ی آستانه^۲ (POT) تبدیل شد، بطوری‌که متوسط ۳ بده‌ی اوج در هر سال انتخاب گردد. معیارهایی مثل بیشترین تراکم زمانی- مکانی، رواناب، و اوج جریان مشاهداتی بارشها، پوشش مکانی کافی و تجاوز زمان بارش از زمان تمرکز حوضه نیز رعایت شد (کوندولیک و سیمونوویک، ۲۰۰۴a و US-ACE, 2000)، در جدول ۴ روش معکوس فاصله برای محاسبه میانگین بارش در زیر حوضه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

¹- peak weighted root mean square error (PW RMSE)

²- peak over threshold (POT)



شکل ۵. طرح واره‌ی حوضه‌ی آبخیز کارون ۳ در نرم افزار HEC-HMS

ذخیره‌ی جریان در راستای موج سیلاب محاسبه می‌گردد، استفاده شد (گارسیا و همکاران، ۲۰۰۸؛ غفوری، ۱۳۸۸؛ گلیان و همکاران، ۲۰۱۰). در این روش، با افزودن زمان پیمایش بازه و وزن دهی به تاثیر مقادیر ورودی و خروجی جریان، کاهش بدهی اوج (میرایی موج) تعیین می‌شود. ضریب K ، زمان پیمایش موج، با داشتن ویژگی‌های هندسی مقطع و بدهی رود، یا واسنجی تعیین می‌شود. ضریب X ، وزن بین تاثیر ورودی و خروجی جریان با مقدار متغیر بین ۰ تا ۰.۵، است. تعداد زیر بازه در میرایی موج مؤثر بوده، و افزایش آن سبب کاهش میرایی می‌شود (US-ACE, 2010). مقادیر اولیه‌ی K و X با استفاده از دستورالعمل US-ACE, 2000، کونج، ۱۹۶۹؛ غفوری، ۱۳۸۸، تعیین و با واسنجی بهینه گردید (جدول ۹).

ذوب برف

از فراسنجهای مهم شبیه ذوب برف، دمای ریزش برف، دمای شروع، و نرخ ذوب است، که مقادیر اولیه‌ی آنها با توجه به تحقیقات قبلی تعیین (پره‌مت و همکاران، ۱۳۸۴؛ نجفی و همکاران، ۱۳۸۶)، و با واسنجی بهینه گردید (جدول ۱۰). دمای شروع ذوب، آستانه‌ی ای است که اگر دما از آن فراتر رود برف ذوب می‌شود. زمانی که نرخ بارش بیشتر از حد آستانه‌ی بارش مایع است، نرخ ذوب با کاربرد تابع ATI^1 (جدول ۱۱) محاسبه و با ضریب ATI^2 (۰.۹۵) به هنگام می‌شود. حد سرما هنگام تغییرات

تبدیل بارش به بارش مازاد با کاربرد روش آب نگار واحد کلارک صورت گرفت (گارسیا و همکاران، ۲۰۰۸، غفوری، ۱۳۸۸؛ گلیان، ۲۰۱۰). در این روش، جابه‌جایی موج سیلاب مبتنی بر منحنی مساحت-زمان می‌باشد که بیانگر نسبتی از حوضه است که در هر گام در تولید رواناب دخیل می‌باشد. کاهش بدهی اوج با شبیه مخزن خطی محاسبه می‌شود. زمان تمرکز هر زیر حوضه با استخراج طول آبراهه و ارتفاع از نقشه‌ی رودخانه، و شبیه رقومی حوضه، با کاربرد معادله‌ی کریپیچ، ۱۴، تخمین (بروس و همکاران، ۱۹۹۳؛ و گرمالدی و همکاران، ۲۰۱۲؛ غفوری، ۱۳۸۸) و با واسنجی بهینه شد، (جدول ۶)،

$$t_c = 0.949 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.285} \quad (14)$$

که t_c زمان تمرکز (ساعت)، L طول آبراهه اصلی (کیلومتر) و H اختلاف ارتفاع بلندترین و کوتاه‌ترین نقطه حوضه (متر) است. مقدار متوسط ضریب ذخیره‌ی واسنجی شده‌ی زیر حوضه‌ها برابر با ۴ ساعت گردید.

جریان پایه: تخمین جریان پایه در SMA با کاربرد مخزن خطی (US-ACE, 2000) صورت گرفت، که مقادیر فراسنجهای واسنجی شده‌ی آن در جدول ۷ مشاهده می‌شوند. در سایر روشهای نفوذ از روش متوسط ثابت ماهانه، با توجه به داده‌های بدهی پایه به ثبت رسیده استفاده شد، (جدول ۸).

شبیه روندیابی

در این تحقیق از روش روندیابی موسکینگهام، مبتنی بر قانون بقای جرم، که با فرض ذخیره‌ی خطی، تغییرات

¹ - antecedent temperature index meltrate function

² - ATI-meltrate coefficient

که مقادیر تخمین زده شده‌ی اولیه‌ی واسنجی گردید، و شبیه به صورت توزیعی اجرا نشد، مقدار میانگین فراسنجها در جداول مقاله گزارش کرده‌اند.

مقادیر منتخب و واسنجی شده‌ی روشهای SCS، GA، CF، IC و Exp در جداول ۱۴ تا ۱۸ مشاهده می‌شوند. میانگین مقدار CN از نقشه‌ی CN حاصل از همپوشانی نقشه‌ی قابلیت و کاربری اراضی به‌دست آمد. هدایت آبی، تلفات رطوبت اولیه و مکش خاک با استفاده از نقشه‌های فوق و جداول مربوطه تعیین شدند (US-ACE, 2000, 2010).

ارزیابی شبیه و شاخص‌های عملکرد

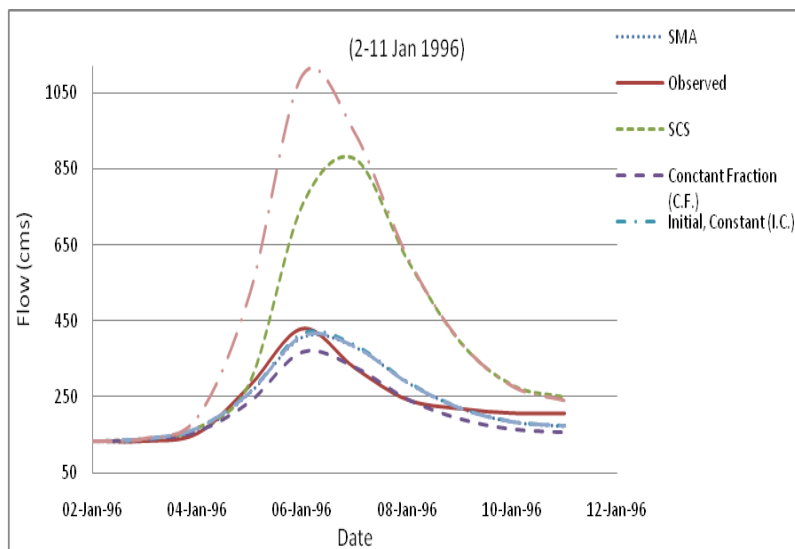
به منظور تعیین کارایی و بررسی توانایی شبیه در پیش‌بینی دقیق، در بازه‌های زمانی غیر از واسنجی (فلمینگ و نیری، ۲۰۰۴)، شبیه مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق با جدول ۱۹، SMA با بیشترین میانگین ناش - ساتکلیف ۰.۸۱ و ۰.۶۹، و کمترین مجموع مربعات خطای وزنی ۱۴۸ و ۱۴۳ در واسنجی و ارزیابی، برتر شناخته شد، پس از آن CF و SCS در ارزیابی برتر بودند.

شکل‌های ۶ و ۷ مقادیر بدهی شبیه‌سازی شده‌ی روشهای نفوذ مورد بررسی را در وقایع ۱۱-۲ ژانویه ۱۹۹۱ واسنجی و ۸-۳ مه ۱۹۹۷ ارزیابی نشان می‌دهد. روش SMA برازشی بهتر را از سایرین با داده‌های مشاهده‌ای دارد. روش Exp نیز در هر دو شکل نامناسبترین است. جدول ۲۰ خطای فراسنجهای کلیدی شبیه‌سازی شده‌ی حجم جریان، بدهی و زمان رسیدن به بدهی اوج را، که با استفاده از روشهای تلفات مورد بررسی محاسبه شده‌اند، نشان می‌دهد.

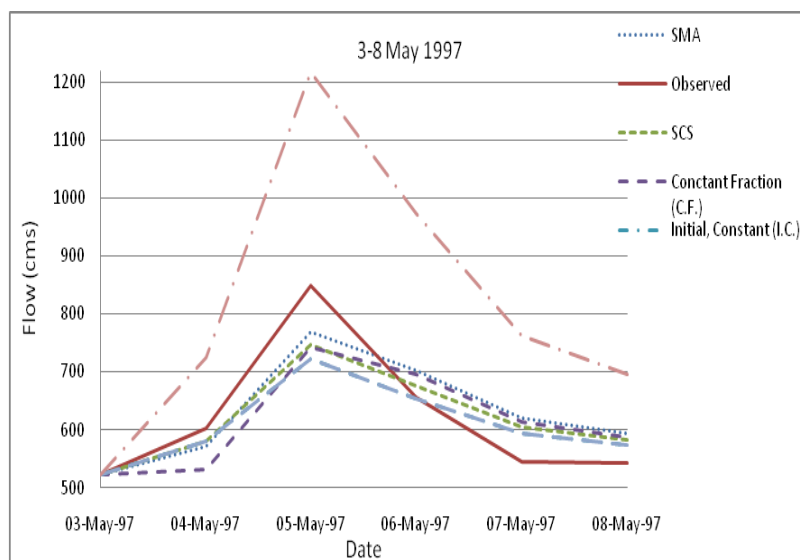
ناگهانی دما در مواجهه با بارش زیاد (۰.۸۴) به کار می‌رود (US-ACE, 2000). ذخیره‌ی آب، درصد آب موجود در برف است. وقتی برف بر زمین انباشته شود، گرمای زمین باعث ذوب قسمت تحتانی می‌شود که با تعیین یک مقدار ثابت، محاسبه می‌گردد. در انتها، در هر زیر حوضه چند نوار ارتفاعی تعریف، و با استفاده از دما، ارتفاع ایستگاه دماسنجی و شیب حرارتی (۶.۵- درجه در هزار متر، پرهمت و همکاران، ۱۳۸۴)، دمای میانگین هر نوار تعیین شد.

مساحت طبقات مختلف ارتفاعی هر یک از زیر حوضه‌ها که در محاسبات برف بکار رفته است در جدول ۱۲ آورده شده است.

تلفات بارش: از ۱۲ فراسنج شبیه SMA، مقدار متوسط مکانی نرخ نفوذ که با توجه با تحلیل حساسیت صورت گرفته تأثیر بارزی بر مقادیر بدهی اوج نشان داد و با استفاده از نقشه‌های کاربری و قابلیت اراضی و غفوری (۱۳۸۸) تخمین زده شد. سایر پارامترها به منظور تطابق بهتر مقادیر بدهی اوج، حجم رواناب، زمان رسیدن به بدهی اوج و شکل آب نگار واسنجی شدند، (جدول ۱۳). به‌دلیل این‌که در واسنجی خودکار غالباً شبیه در بهترین موقعیتهای موضعی گرفتار می‌شود، واسنجی به صورت دستی با انجام کلیه‌ی ترکیبات ممکن از پارامترها با گرفتن اجراهای بسیار زیاد از شبیه صورت پذیرفت. به‌دلیل نبودن داده‌های بدهی ثبت شده در خروجی تک تک زیر حوضه‌ها، کالیبراسیون به صورت کلی برای کل حوضه انجام پذیرفت. قابل ذکر است که مقادیر پارامترها در زیرحوضه‌های مختلف، با توجه به پوشش، قابلیت اراضی و سایر خصوصیات تا اندازه‌ای متفاوتند، اما با توجه به این-



شکل ۶. بدهی شبیه سازی شده و مشاهداتی واقعه‌ی ۱۱-۲ ژانویه ۱۹۹۶.



شکل ۷. بدهی شبیه سازی شده و مشاهداتی واقعه‌ی ۳-۸ مه ۱۹۹۷.

SMA در بدهی اوج، و IC و GA در زمان رسیدن به بدهی اوج، برتر بودند.

SMA با کمترین میانگین درصد خطای حجم رواناب، بدهی اوج، و زمان رسیدن به بدهی اوج در واسنجی برتر شناخته شد. در ارزیابی، SMA در حجم رواناب، SCS و

جدول ۲. تخمین مقادیر ذخیره‌ی چالابی (بنت، ۱۹۹۸).

زمین هموار، زمین شخم زده و شیاردار	شیب ملایم و آرام	شیب تند تا متوسط	نواحی پوشش دار و نفوذ ناپذیر	شرایط سطحی
۲/۰	۰/۲۵ - ۰/۵۰	۰/۰۴	۰/۲۵ - ۰/۱۲۵	ذخیره چالابی (اینچ)

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده‌ی وزارت نیرو.

ایستگاه	سولگان	سوسن	پاسوج	هنا	ایده	پاتاوه	پل شالو	سپیدار	شاه مختار	کنا	خسرو شیرین	لردگان	ده دز	آلوی	بازر	بهشت آباد	بروجن	چهلگرد	شهرکرد
طول جغرافیایی (درجه)	۵۱.۲۴	۴۹.۸۷	۵۱.۶	۵۱.۷۲	۴۹.۸۵	۵۱.۲۷	۵۰.۱۳	۵۱.۳۸	۵۱.۵۲	۵۱.۳۵	۵۲	۵۰.۸۲	۵۰.۲۸	۵۱.۰۷	۵۰.۴۲	۵۰.۶۲	۵۱.۳۸	۵۰.۱۳	۵۰.۸۷
عرض جغرافیایی (درجه)	۳۱.۶۴	۳۱.۹۸	۳۰.۶۵	۳۱.۱۸	۳۱.۸۲	۳۰.۹۵	۳۱.۷۵	۳۰.۶۳	۳۰.۶۸	۳۱.۱۸	۳۰.۹	۳۱.۵	۳۱.۷۵	۳۱.۵۵	۳۱.۵۲	۳۲.۱۷	۳۱.۹۷	۳۲.۴۵	۳۲.۸۲

جدول ۴. مقادیر بارش روزانه وقایع مورد استفاده در واسنجی و ارزیابی شبیه (بر حسب میلیمتر).

وقایع	ایستگاه	سولگان	سوسن	پاسوج	هنا	ایده	پاتاوه	پل شالو	سپیدار	شاه مختار	کنا	خسرو شیرین	لردگان	ده دز	آلوی	بازر	بهشت آباد	بروجن	چهلگرد	شهرکرد
۳ ژانویه ۱۹۹۶		۰	۰	۱.۵	۰	۰	*۲	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴ ژانویه ۱۹۹۶		۲.۵	۵	۵.۵	۲	۳	۲	۰.۸	۱.۵	۵	۴	۴	۱.۵	۲.۵	۲	۲	۰	۰	۰	
۵ ژانویه ۱۹۹۶	۱-۲ ژانویه ۱۹۹۶	۰.۵	۲.۶	۱۵.۵	۰	۳.۱	۱۰.۵	۳.۰	۲.۷	۹	۸	۰	۵	۱	۱.۷	۱.۷	۰	۸	۰	
۶ ژانویه ۱۹۹۶		۵.۳	۵۷.۵	۷.۲	۴.۱	۴.۹	۴.۹	۷.۲	۵.۵	۷.۹	۴.۴	۲.۲	۴.۳	۲.۹	۴.۶	۳۳.۵	۳۳.۵	۴۶.۹	۵.۹	۷
۷ ژانویه ۱۹۹۶		۲.۴	۰	۱۳.۵	۰	۲	۰	۰	۴.۰	۱.۲	۰	۱.۳	۲.۵	۴.۳	۱۰.۵	۸	۸	۱۳.۱	۰	۱۹.۵
۱۱ آوریل ۱۹۹۶		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶	۰	۰
۱۲ آوریل ۱۹۹۶		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۰	۰	۰	۰	۵	۰	۰
۱۳ آوریل ۱۹۹۶		۴.۲	۲.۷	۵۲.۵	۵.۵	۲.۰	۲۸.۵	۲۶.۲	۵.۳	۵.۰	۱.۹	۹	۱.۱	۱۲	۱۴.۵	۲۰.۵	۲۰.۵	۰	۳.۸	۰.۵
۱۴ آوریل ۱۹۹۶	۱۱-۱۸ آوریل ۱۹۹۶	۳.۵	۵.۱	۳۹.۵	۴	۴.۳	۱۹.۵	۳.۲	۱.۹	۲.۵	۲.۱	۱۳.۵	۴.۳	۲.۷	۱۵.۵	۳.۶	۳.۶	۹.۵	۴.۰	۱.۴
۱۵ آوریل ۱۹۹۶		۲	۱.۸	۲.۱	۱.۵	۲.۵	۲۲.۵	۵۱.۳	۴.۶	۳.۲	۳.۱	۱۶.۵	۴.۰	۲۹.۵	۴۳.۵	۲۶.۵	۲۶.۵	۰	۴.۴	۲۲.۵
۱۶ آوریل ۱۹۹۶		۰	۰	۰	۰	۰	۳.۵	۰.۵	۰	۲	۴	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷ آوریل ۱۹۹۶		۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳ آوریل ۱۹۹۷		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲.۵
۴ آوریل ۱۹۹۷		۶	۰	۳.۵	۱.۵	۰.۴	۲.۵	۱.۷	۶	۳	۰	۰	۳	۰	۴	۶	۶	۱.۵	۴	۱
۵ آوریل ۱۹۹۷	۱۴-۳ آوریل ۱۹۹۷	۳.۳	۲۶.۵	۴۴.۵	۳۴.۵	۱.۱	۳.۶	۶۷.۱	۸.۱	۴.۱	۳.۲	۲.۸	۲.۳	۳.۵	۱.۵	۲۴.۵	۲۴.۵	۰	۱.۵	۸
۶ آوریل ۱۹۹۷		۶.۵	۶	۲.۱	۱.۶	۱.۳	۱.۰	۷.۱	۳.۲	۲.۰	۶	۹.۵	۱	۶	۵.۵	۵.۵	۵.۵	۰	۳.۲	۲
۷ آوریل ۱۹۹۷		۳.۲	۰	۷	۲.۱	۰	۱.۷	۲۱.۲	۱.۱	۱.۲	۳.۵	۵	۲.۵	۶	۲.۴	۱.۸	۱.۸	۰	۱.۱	۷.۵

	۸ آوریل ۱۹۹۷	۰	۰.۵	۰	۰	۰	۰	۱.۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	
	۹ آوریل ۱۹۹۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۰	۱۵	۰	
	۱۰ آوریل ۱۹۹۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	
	۴ فوریه ۱۹۹۵	۳	۲	۱۳.۵	۳.۵	۱	۴.۵	۰.۴	۱۰	۳	۰	۳	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	
	۵ فوریه ۱۹۹۵	۴۳	۱۸.۵	۹۰	۴۸	۲۲	۶۳.۵	۴۳	۱۵	۷۹	۴۱	۶۸	۳۵	۲۷.۵	۴۱.۵	۳۵.۵	۲۵	۱۴	۴۲	۱۴.۵
۱۴-۳ فوریه ۱۹۹۵	۶ فوریه ۱۹۹۵	۳۶	۶	۸۸	۴۲.۵	۲۱	۴۸	۳۵	۱۵.۵	۱۰۰	۴۷	۷۳	۳۱	۱۱.۵	۴۷	۱۱	۱۹.۵	۱۱.۵	۳۷	۱۵.۵
	۷ فوریه ۱۹۹۵	۱۱	۰	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸	۰
	۸ فوریه ۱۹۹۵	۴	۳۴.۵	۲۹	۱۰	۲۳	۴	۲۴.۵	۷۳	۳۴	۲	۲۱	۲۰	۱۰	۱۲.۵	۱۴	۱۶	۱۰	۱۱	۱۰.۵
	۹ فوریه ۱۹۹۵	۰	۵.۵	۲	۰	۲	۰	۰.۷	۴	۱	۰	۰.۵	۱	۰	۲.۵	۰	۰	۰	۲۸	۰
	۲۳ نوامبر ۱۹۹۴	۱۰	۷۲	۱۵	۰	۳۹	۱۴	۴۳.۵	۰	۰	۱۱	۰	۳۸	۲۲	۶.۵	۴۲	۴۰	۱.۵	۰	۵.۵
۲۲- ۲۸ نوامبر ۱۹۹۴	۲۴ نوامبر ۱۹۹۴	۴۸.۵	۶۴.۵	۱۶.۵	۳	۳۶	۱۴.۵	۶۲	۳۵	۱۳.۵	۳۱	۴	۷۹	۳۹	۳۲.۵	۸۰	۳۳	۱۲	۶	۱۷.۵
	۲۵ نوامبر ۱۹۹۴	۶۹	۱۴	۲۹	۱۷.۵	۳۴	۲۵	۶۴	۳۸	۲۴.۵	۲۵	۱۷	۵۴	۵۰	۳۵.۵	۶۴	۴۵	۱۶.۵	۱۱.۵	۱۵.۵
	۲۶ نوامبر ۱۹۹۴	۸	۱۱	۱۵	۵.۵	۴	۵	۴۱	۴۰	۲۳	۷	۹.۵	۱۰	۰	۳.۵	۵.۵	۲.۵	۰	۱۳۰	۴
۳-۸ مه ۱۹۹۷	۵ مه ۱۹۹۷	۴۱.۵	۲۶	۴۴.۵	۱۹.۵	۸.۳	۲۹.۵	۱۴.۴	۳۷	۳۷	۳۰	۱۸	۱۷.۵	۱۵	۲۲	۸.۵	۸.۵	۰	۵۰	۲
	۶ مه ۱۹۹۷	۰	۲	۰.۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۴	۰	۰.۵	۰	۳	۲.۵	۲.۵	۰	۳۲	۰
	۲۳ مارس ۱۹۹۷	۳.۵	۱۲	۴.۵	۱	۲۹	۲	۱۵.۳	۵	۱	۰	۰	۰	۷.۵	۲	۱۵	۱۵	۰	۲۰	۱
۲۷-۲۱ مارس ۱۹۹۷	۲۴ مارس ۱۹۹۷	۱۲	۱۶	۴۱	۱۳.۵	۹.۵	۲۷.۵	۸.۲	۵۰	۴۰	۱۵	۱۶.۵	۱۸	۸	۱۲	۱۱	۱۱	۰	۲۷	۳
	۲۵ مارس ۱۹۹۷	۲۴.۵	۵۸	۵۴.۵	۱۱	۴۷	۳۱.۵	۳۶.۳	۶۶	۴۹	۳۰	۳۲.۵	۱۶	۲۱	۲۲.۵	۲۵.۵	۲۵.۵	۰	۱۸	۱۳.۵
	۲۶ مارس ۱۹۹۷	۰	۰	۰	۰	۱	۰.۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱.۵	۰	۰.۵	۲	۲	۰	۴	۰
	۲۸ نوامبر ۱۹۹۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۸ نوامبر- ۳ دسامبر ۱۹۹۴	۲۹ نوامبر ۱۹۹۴	۵	۰	۲۱.۵	۵.۵	۰	۱۱	۰	۲۴	۱۵.۵	۸	۲	۰	۹	۳.۵	۰	۵	۰	۵	۰
	۳۰ نوامبر ۱۹۹۴	۷۴	۲۹	۳۰.۵	۲۱	۱۴	۴۱	۲۸.۸	۳۱	۲۶.۵	۶۰	۷	۳۹	۱۳	۵۶.۵	۴۰	۱۲	۳.۵	۱۶	۱۳
	۱ دسامبر ۱۹۹۴	۱۶	۵	۳.۵	۱۷	۷	۲۲.۵	۱۶.۷	۶۲	۳۶	۸	۳۳	۱۲	۰	۵.۵	۹	۵	۸	۵۰	۵

جدول ۵. مقادیر بدهی مشاهداتی متناظر با وقایع بارش رواناب منتخب (متر مکعب بر ثانیه)

تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده	تاریخ	بده				
۳۱ نوامبر ۱۹۹۴	۶۸۲	۲۹ نوامبر ۱۹۹۴	۱۰۵۱	۱ دسامبر ۱۹۹۴	۱۶۸۹	۲ دسامبر ۱۹۹۴	۱۱۹۳	۳ دسامبر ۱۹۹۴	۹۷۵	۴ دسامبر ۱۹۹۴	۱۳۸۳	۵ دسامبر ۱۹۹۴	۹۵۰	۶ دسامبر ۱۹۹۴	۷۷۰	۷ دسامبر ۱۹۹۴	۷۰۱	۸ دسامبر ۱۹۹۴	۶۳۵	۹ دسامبر ۱۹۹۴	۵۹۱	۱۰ دسامبر ۱۹۹۴	۵۳۰
۲۱ مارس ۱۹۹۷	۲۶۴	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۲۸۵	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۳۶۴	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۷۰	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۵۴۱	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۴۶	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۰۰	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۹۰	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۷۸	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۵۵	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۴۴	۲۱ مارس ۱۹۹۷	۴۳۸
۲۲ نوامبر ۱۹۹۴	۳۵۴	۲۳ نوامبر ۱۹۹۴	۴۱۴	۲۴ نوامبر ۱۹۹۴	۱۶۷۴	۲۵ نوامبر ۱۹۹۴	۱۴۸۷	۲۶ نوامبر ۱۹۹۴	۲۳۲۷	۲۷ نوامبر ۱۹۹۴	۱۰۷۱	۲۸ نوامبر ۱۹۹۴	۸۷۰	۲۹ نوامبر ۱۹۹۴	۶۸۲	۲۹ نوامبر ۱۹۹۴	۶۱۴	۲۹ نوامبر ۱۹۹۴	۵۸۲	۲۹ نوامبر ۱۹۹۴	۵۵۹	۲۹ نوامبر ۱۹۹۴	۵۴۰
۴ فوریه ۱۹۹۵	۳۶۸	۵ فوریه ۱۹۹۵	۳۷۲	۶ فوریه ۱۹۹۵	۱۶۷۴	۷ فوریه ۱۹۹۵	۱۴۸۷	۸ فوریه ۱۹۹۵	۱۰۳۲	۹ فوریه ۱۹۹۵	۱۰۷۱	۱۰ فوریه ۱۹۹۵	۶۸۲	۱۱ فوریه ۱۹۹۵	۶۹۴	۱۲ فوریه ۱۹۹۵	۶۱۴	۱۳ فوریه ۱۹۹۵	۵۸۲	۱۴ فوریه ۱۹۹۵	۵۵۹	۱۵ فوریه ۱۹۹۵	۵۴۰
۴ آوریل ۱۹۹۷	۴۶۵	۵ آوریل ۱۹۹۷	۸۱۰	۶ آوریل ۱۹۹۷	۱۴۱۲	۷ آوریل ۱۹۹۷	۱۱۴۰	۸ آوریل ۱۹۹۷	۱۰۰۵	۹ آوریل ۱۹۹۷	۸۵۳	۱۰ آوریل ۱۹۹۷	۷۷۱	۱۱ آوریل ۱۹۹۷	۷۱۷	۱۲ آوریل ۱۹۹۷	۶۲۷	۱۳ آوریل ۱۹۹۷	۵۸۰	۱۴ آوریل ۱۹۹۷	۵۵۸	۱۵ آوریل ۱۹۹۷	۵۴۰
۱۲ آوریل ۱۹۹۶	۸۱۹	۱۳ آوریل ۱۹۹۶	۹۲۳	۱۴ آوریل ۱۹۹۶	۱۴۰۷	۱۵ آوریل ۱۹۹۶	۲۰۱۲	۱۶ آوریل ۱۹۹۶	۱۶۲۱	۱۷ آوریل ۱۹۹۶	۱۲۸۱	۱۸ آوریل ۱۹۹۶	۱۱۲۶	۱۹ آوریل ۱۹۹۶	۱۰۶۳	۲۰ آوریل ۱۹۹۶	۱۰۲۱	۲۱ آوریل ۱۹۹۶	۹۷۱	۲۲ آوریل ۱۹۹۶	۹۵۸	۲۳ آوریل ۱۹۹۶	۹۴۰
۳ ژانویه ۱۹۹۶	۱۳۳	۴ ژانویه ۱۹۹۶	۱۳۳	۵ ژانویه ۱۹۹۶	۱۵۴	۶ ژانویه ۱۹۹۶	۲۸۲	۷ ژانویه ۱۹۹۶	۴۲۳	۸ ژانویه ۱۹۹۶	۳۲۳	۹ ژانویه ۱۹۹۶	۲۴۰	۱۰ ژانویه ۱۹۹۶	۲۱۸	۱۱ ژانویه ۱۹۹۶	۲۰۶	۱۲ ژانویه ۱۹۹۶	۲۰۶	۱۳ ژانویه ۱۹۹۶	۲۰۶	۱۴ ژانویه ۱۹۹۶	۲۰۶

وقایع

جدول ۶. زمان تمرکز زیر حوضه‌ها در تابع تبدیل کلارک.

پل شالو	خرسان میانی	لردگان	بشار	ماربر	میانی پایین دست	بازفت	میانی بالا دست	آب ونک	کوه‌رنگ	بهشت آباد	زیر حوضه
۲.۵	۵.۵	۳.۵	۶.۵	۵.۵	۳.۵	۶.۵	۲.۵	۶.۵	۵.۵	۷.۵	زمان تمرکز (ساعت)

جدول ۷. فراسنج‌های واسنجی شده‌ی شبیه‌ساز مخزن خطی.

پارامتر	مقدار میانگین در زیر حوضه‌ها
ضریب ذخیره‌ی لایه‌ی اول آبهای زیر زمینی	۱۱۰۰ ساعت
تعداد مخازن ذخیره‌ی لایه‌ی اول آبهای زیر زمینی	۲
ضریب ذخیره‌ی لایه‌ی دوم آبهای زیر زمینی	۱۷۰۰ ساعت
تعداد مخازن ذخیره‌ی لایه‌ی دوم آبهای زیر زمینی	۳

جدول ۸. مقادیر متوسط بدهی پایه در وقایع مورد بررسی.

وقایع	۲-۱۱ ژانویه	۱۱-۱۸ آوریل	۳-۱۴ آوریل	۳-۱۴ فوریه	۲۲-۲۸ نوامبر	۳-۸ مه	۲۱-۲۷ مارس	۳-۲۸ نوامبر
	۱۹۹۶	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۵	۱۹۹۴	۱۹۹۷	۱۹۹۷	۱۹۹۴
جریان پایه (متر مکعب بر ثانیه)	۱۲	۷۵	۴۲	۳۴	۳۷	۴۷.۵	۲۴	۶۱.۵

جدول ۹. فراسنجهای واسنجی شده‌ی شبیه روندیابی موسکینگهام

تعداد زیر بازه ها	ضریب X موسکینگهام	ضریب K موسکینگهام (ساعت)	بازه
۱	۰.۰۸	۳	۱
۲	۰.۰۶	۴	۲
۳	۰.۰۸	۳	۳
۴	۰.۰۵	۵	۴
۵	۰.۰۸	۲	۵

جدول ۱۰. مقادیر واسنجی شده فراسنجهای شبیه ذوب برف.

فراسنج	دمای ریزش برف (درجه‌ی سانتیگراد)	دمای شروع ذوب برف (درجه‌ی سانتیگراد)	نرخ ذوب مرطوب (میلیمتر بر درجه روز)	حد آستانه بارش مایع (میلیمتر بر روز)	ضریب نرخ ذوب برف	تابع ذوب برف	حد سرما (میلیمتر بر روز)	ضریب تابع نرخ ذوب برف	ذخیره‌ی آب (درصد)	نرخ ذوب برف به وسیله‌ی زمین (میلیمتر بر روز)
مقدار	۰	-۲.۵	۷	۰.۴	۰.۹۵	جدول ۸	۲۰	۰.۸۴	۶	۲

جدول ۱۱. تابع ذوب برف.

نرخ ذوب برف (میلیمتر بر درجه روز)	۰	۰	۰	۰	۰	۳.۵	۴	۴.۵	۵	۵.۵	۶	۶.۵	۷	۷.۲۵	۷.۵
تابع ذوب برف (درجه روز)	-۴۰	-۳۰	-۲۰	-۱۰	-۵	-۲.۵	۰.۱	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۱۷۰	۲۵۰	۴۰۰

جدول ۱۲. درصد مساحت واقع در کلاس‌های مختلف ارتفاعی زیر حوضه‌ها

نام زیر حوضه	۸۱۰-۵۰۲	۱۰۹۹-۸۱۰	۱۴۰۳-۱۰۹۹	۱۶۹۵-۱۴۰۳	۱۹۷۹-۱۶۹۵	۲۲۹۲-۱۹۷۹	۲۷۰۵-۲۲۹۲	۴۴۱۵-۲۷۰۵
بهشت آباد	۰	۰	۰	۰	۰	۵۳	۳۹	۸
آب ونک	۰	۰	۰	۱	۲	۲۱	۵۴	۲۲
ماربر	۰	۰	۰	۲	۶	۲۵	۵۱	۱۷
بشار	۰	۰	۰	۶	۲۰	۳۲	۲۹	۱۲
خرسان میانی	۰	۳	۸	۱۴	۱۹	۲۴	۲۴	۸
میانی بالادست	۰	۰	۱	۶	۱۸	۲۶	۲۴	۲۶
میانی پایین دست	۰	۲۲	۲۰	۱۳	۱۵	۷	۱۳	۱۰
کوه‌رنگ	۰	۰	۰	۰	۸	۱۴	۳۳	۴۴
بازفت	۰	۱	۳	۱۲	۲۲	۲۰	۲۳	۱۹
لردگان	۰	۲	۵	۱۸	۳۱	۲۵	۱۳	۷
پل شالو	۱۳	۲۰	۲۰	۱۳	۱۰	۸	۸	۸

جدول ۱۳. مقادیر واسنجی شده‌ی فراسنجهای شبیه تلفات SMA.

فراسنج	مقدار میانگین زیر حوضه ها
ظرفیت ذخیره‌ی برگالی	۱۶۴ میلیمتر
ظرفیت ذخیره‌ی چالایی	۵ میلیمتر
ظرفیت ذخیره‌ی خاک	۱۳۵ میلیمتر
ظرفیت مکش رطوبتی خاک	۲۰ میلیمتر
بیشترین نرخ نفوذپذیری خاک	۷ میلیمتر
نرخ نفوذپذیری نهایی خاک	۳۰۷۵ میلیمتر بر ساعت
ظرفیت ذخیره‌ی لایه اول آبهای زیرزمینی	۱۳۵ میلیمتر
نرخ نفوذپذیری نهایی لایه-ی اول آبهای زیرزمینی	۱۰۸ میلیمتر بر ساعت
ضریب ذخیره‌ی لایه‌ی اول آبهای زیرزمینی	۱۱۰۰ ساعت
ظرفیت ذخیره‌ی لایه‌ی دوم آبهای زیرزمینی	۱۳۵ میلیمتر
نرخ نفوذپذیری نهایی لایه-ی دوم آبهای زیرزمینی	۱۰۴ میلیمتر بر ساعت
ضریب ذخیره‌ی لایه‌ی دوم آبهای زیرزمینی	۱۷۰۰ ساعت

جدول ۱۶. مقادیر واسنجی شده شبیه نفوذ CF

فراسنج	مقدار میانگین زیر حوضه ها
نسبت	۰.۲۵

جدول ۱۴. مقادیر واسنجی شده‌ی فراسنجهای شبیه نفوذ SCS (شرایط رطوبتی متوسط، II).

فراسنج	مقدار میانگین زیر حوضه ها
تلفات اولیه	۱۰.۴ میلیمتر
شماره منحنی	۸۳

جدول ۱۷. مقادیر واسنجی شده شبیه نفوذ IC

فراسنج	مقدار میانگین زیر حوضه ها
تلفات اولیه	تابع شرایط وقوع بارش (۰ تا ۷ میلیمتر)
مقدار ثابت	۳۰۷۵ میلیمتر بر ساعت

جدول ۱۵. مقادیر واسنجی شده شبیه نفوذ GA.

فراسنج	مقدار میانگین زیر حوضه ها
ظرفیت اولیه	تابع شرایط وقوع بارش (۰ تا ۰.۴۲)
ظرفیت اشباع	۰.۴۲
مکش رطوبتی خاک	۴۵۰ میلیمتر
هدایت هیدرولیکی	۳۰۷۵ میلیمتر بر ساعت

جدول ۱۸. مقادیر واسنجی شده شبیه نفوذ Exp

فراسنج	مقدار میانگین زیر حوضه ها
دامنه اولیه	۰ میلیمتر
ضریب اولیه	۰.۸ میلیمتر بر ساعت $(1-x)^x$
ضریب نسبت	۱
توان Exp	۰.۹

جدول ۱۹. شاخصهای ارزیابی شبیه در وقایع واسنجی و ارزیابی.

وقایع	SMA		SCS		Green Ampt		Cons Frac		Initial, Const		Exponential		
	NS	PW RMSE	NS	PW RMSE	NS	PW RMSE	NS	PW RMSE	NS	PW RMSE	NS	PW RMSE	
واسنجی	۱۱-۲ ژانویه ۱۹۹۶	۰.۸۴	۳۸.۵۶	-۶.۹۵	۲۸۳.۳۱	۰.۸۴	۳۸.۵۷	۰.۸۵	۳۹.۴	۰.۸۴	۳۹.۳۲	۱۳.۶۸	۳۹۴.۸
	۱۴-۳ آوریل ۱۹۹۷	۰.۸۱	۱۱۷.۵۵	۰.۲	۲۷۱.۰۵	-۰.۴۱	۳۵۱.۴۸	-۱.۳۴	۴۵۱.۳۵	-۰.۴۱	۳۵۱.۴۸	۰.۸۳	۱۱۶.۵
	۱۴-۳ فوریه ۱۹۹۵	۰.۷۸	۱۹۸.۱۹	۰.۰۹	۴۱۹.۲۶	-۰.۲۶	۵۴۳	۰.۶۳	۲۴۹.۸۶	-۰.۲۶	۵۴۳	۰.۷۱	۲۲۰.۶
	۲۸-۲۲ نوامبر ۱۹۹۴	۰.۸۳	۳۲۷.۰۴	۰.۲۵	۶۸۹.۵۵	-۱.۰۳	۱۲۵۰.۶	۰.۷۲	۴۲۸.۱۶	-۱.۰۳	۱۲۵۰.۶	۰.۴۸	۶۲۹.۰
	۲۷-۲۱ مارس ۱۹۹۷	۰.۸۸	۳۴.۵۳	۰.۸۹	۳۲.۹۴	۰.۶۷	۵۸.۱۷	-۲.۷۲	۱۹۵.۷۹	۰.۶۷	۵۸.۱۷	-۱.۵۱	۱۶۰.۲
	۲۸ نوامبر تا ۳ دسامبر ۱۹۹۳	۰.۷۴	۱۷۱.۸۳	۰.۱۸	۳۲۰.۹	-۰.۳	۴۱۱.۸۶	۰.۵	۲۳۳.۵۱	-۰.۳	۴۱۱.۸۶	۰.۱۶	۳۰۲.۹
	میانگین	۰.۸۱	۱۴۷.۹	۰.۸۹	۳۳۶.۱	-۰.۰۸	۴۴۲.۲	۰.۲۳	۲۶۶.۳	-۰.۰۸	۴۴۲.۴	-۲.۱۷	۳۰۴.۰
ارزیابی	۱۱-۱۸ آوریل ۱۹۹۶	۰.۶۹	۲۲۰.۶۳	۰.۶۸	۲۲۲.۲۸	-۰.۵	۵۰۷.۸	۰.۶۸	۲۳۵.۷۴	-۰.۵	۵۰۷.۸	۰.۶۵	۲۴۱.۱
	۳-۸ می ۱۹۹۷	۰.۷	۶۵.۹۹	۰.۷۱	۶۶.۲۶	۰.۶۶	۷۲.۷۹	۰.۶۱	۷۶.۶۹	۰.۶۶	۷۲.۷۹	-۳.۸۹	۲۶۹.۲
	میانگین	۰.۶۹	۱۴۳.۳۱	۰.۶۹	۱۴۴.۲	۰.۰۸	۲۹۰.۳	۰.۶۴	۱۵۶.۲۲	۰.۰۸	۲۹۰.۳	-۱.۶۲	۲۵۵.۲

جدول ۲۰. اختلاف متغیرهای کلیدی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وقایع واسنجی و ارزیابی

وقایع	Methods Measure	SMA		SCS		Cons Frac.		Initial, Const		Green Ampt		Exp.	
		اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد	اختلاف	درصد
۱۱-۲ ژانویه ۱۹۹۶	حجم (میلیمتر)	۰.۱۶	۲	۵.۴۱	۵۳	۹.۶۸	۷۸	-۰.۲۸	۴	۰.۲۸	۴	۷.۸۱	۶۸
	بدهی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	-۱۶.۸۲	-۴	۴۹۳.۷	۷۳	۷۷۹.۱	۹۵	-۵.۳	-۱	-۵.۳	-۱	۷۰۶.۷	۹۰
	زمان وقوع بدهی اوج (ساعت)	۱۱:۳۰		۳:۰۰		۱۱:۳۰		۱۰:۳۰		۱۰:۳۰		۹:۳۰	
۱۴-۳ آوریل ۱۹۹۷	حجم	-۳.۲۳	-۱۱	۵.۶۹	۱۶	-۱.۱۹	-۴	-۹.۸۴	-۳۷	-۹.۸۴	-۳۷	-۲.۳۵	-۸
	بدهی اوج	۱.۰۲	۱	۴۰.۲۶	۲۵	-۱۳۹.۴	-۱۰	-۷۰.۸۸	-۶۷	-۷۰.۸۸	-۶۷	-۱۵۵.۹	-۱۲
	زمان وقوع بدهی اوج	۱۱:۳۰		۵:۴۰		۱۱:۰۰		۱۱:۰۰		۱۱:۰۰		۱۰:۰۰	
۱۴-۳ فوریه ۱۹۹۵	حجم	-۳.۷۱	-۱۲	۱۹.۰۸	۴۶	۱.۶	۵	-۱۲.۳۶	-۴۷	-۱۲.۳۶	-۴۷	-۰.۱۵	-۰.۴۶
	بدهی اوج	۷۲.۳	۴	۸۳۵.۷	۴۰	۲۳۱.۲	-۱۵	۹۷۶.۱	-۸۲	۹۷۶.۱	-۸۲	-۷۳.۳	-۴
	زمان وقوع بدهی اوج	۱۱		۱۰:۰۰		۱۱:۰۰		۱۱:۰۰		۱۱:۰۰		۱۰:۰۰	
۲۸-۲۲ نوامبر ۱۹۹۴	حجم	۰.۸۴	۳	۲.۸	۹	-۸.۴۶	-۳۱	-۱۸.۴۹	۸۴	-۱۸.۴۹	۸۴	-۹.۳۵	-۳۵
	بدهی اوج	-۴۷.۶	-۲	۲۷۱.۲	۱۱	-۹۱۰.۴	-۴۶	۱۶۹۱.۹	-۱۰۷	۱۶۹۱.۹	-۱۰۷	-۹۳۱.۷	-۴۸
	زمان وقوع بدهی اوج	۵		۱۰:۳۰		۷:۰۰		۷:۰۰		۷:۰۰		۶:۳۰	
۲۷-۲۱ مارس ۱۹۹۷	حجم	-۰.۴۶	-۵	-۰.۰۶	-۱	۳.۹	۳۶	-۰.۹۳	-۱۱	-۰.۹۳	-۱۱	۲.۴۸	۲۵
	بدهی اوج	-۱.۳	-۰.۲۴	۴۲.۵	۸	۳۹۶.۱	۵۴	-۸۲.۸	-۱۷	-۸۲.۸	-۱۷	۲۷۹.۸	۴۱
	زمان وقوع بدهی اوج	۷:۳۰		۸:۳۰		۶:۰۰		۵:۳۰		۵:۳۰		۵:۳۰	
۲۸ نوامبر - ۳ دسامبر ۱۹۹۳	حجم	-۰.۰۷	-۰.۳۵	-۱.۳۴	-۷	۲.۲	۱۱	-۴.۸۶	-۲۸	-۴.۸۶	-۲۸	۱.۶۹	۸
	بدهی اوج	-۶۳.۴	-۴	-۲۳۵.۲	-۱۵	-۳۹.۳	-۲	-۷۲۲.۲	-۵۴	-۷۲۲.۲	-۵۴	-۵۲.۳	-۳
	زمان وقوع بدهی اوج	۱۲		۷:۳۰		۲۳:۳۰		۲۵:۳۰		۲۵:۳۰		۲۱:۰۰	
میانگین	حجم (میلیمتر)	-۱.۰۸	-۴	۵.۲۶	۱۹	۱.۲۹	۱۶	-۷.۷	-۳۴	-۷.۷	-۳۴	۰.۰۲	۱۰
	بدهی اوج	-۷.۷۷	-۱	۳۰۱.۷۵	۲۳	-۲۴.۱۸	۱۲	۶۹۷.۸۵	-۵۵	۶۹۷.۸۵	-۵۵	-۳۷.۷۸	۱۱
	زمان وقوع بدهی اوج	۹:۴۵		۲۱:۴۵		۱۱:۴۰		۱۱:۴۵		۱۱:۴۵		۱۰:۲۵	
۱۸-۱۱ آوریل ۱۹۹۶	حجم	۰.۶۷	-۲	۳.۱۳	۹	-۱.۴۲	-۴	-۸.۸۳	-۳۱	-۸.۸۳	-۳۱	-۲.۰۱	-۶
	بدهی اوج	-۲۴.۴	-۱	۹۳.۳	۵	-۳۳۱.۷	-۱۸	-۹۲۴.۶	-۶۰	-۹۲۴.۶	-۶۰	-۳۲۲.۲	-۱۷
	زمان وقوع بدهی اوج	۱		۲۷:۰۰		۱:۳۰		۰:۳۰		۰:۳۰		۶:۰۰	
۸-۳ مه ۱۹۹۷	حجم	۰.۰۴	۰.۳۶	-۰.۱۶	-۱	۳.۲۴	۲۵	-۰.۳۷	-۳	-۰.۳۷	-۳	۳.۶۴	۲۸
	بدهی اوج	-۴۹.۷	-۶	-۸۳.۲	-۱۰	۳۷۳	۳۶	-۱۱۳	-۱۴	-۱۱۳	-۱۴	۴۲۹.۳	۴۰
	زمان وقوع بدهی اوج	۱۲:۳۰		۱۱:۰۰		۹:۳۰		۹:۳۰		۹:۳۰		۹:۳۰	
میانگین	حجم	-۰.۳۱۵	-۱	۱.۴۹	۴	۰.۹۱	۱۰	-۴.۶	-۱۷	-۴.۶	-۱۷	۰.۸۲	۱۱
	بدهی اوج	-۳۷.۰۵	-۴	۵۰.۵	-۳	۲۰.۶۵	۹	-۵۱۸.۸	-۳۷	-۵۱۸.۸	-۳۷	۵۳.۵۵	۱۱
	زمان وقوع بدهی اوج	۶:۴۵		۱۹		۵:۳۰		۵:۰۰		۵:۰۰		۷:۴۵	

واسنجی

ارزیابی

مرتبط با نفوذ آب در لایه‌ی اولیه‌ی خاک، آب زیرزمینی لایه‌ی اول و دوم باشد. از دیگر نتایج، حصول به مقادیر متفاوت شاخصهای عملکرد روشهای نفوذ در هر یک از وقایع بود، که غالباً ناشی از اختلاف مقادیر عمق، شدت، تغییرات زمانی-مکانی بارش و تاثیر متقابل آنهاست (بوتون، ۱۹۸۹؛ بوتون و دروپ، ۲۰۰۳؛ میشر و سینگ، ۲۰۰۴؛ بوندلید و همکاران، ۲۰۰۷؛ شی و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج بیانگر برتری روشهای مختلف تلفات در وقایع مختلف با خصوصیات مکانی و زمانی متفاوت بودند،

نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد شبیه‌های نفوذ SCS، GA، IC، CF و Exp و SMA در شبیه‌سازی تک واقعه‌ای بارش-رواناب حوضه آبخیز کارون ۳ با کاربرد نرم افزار HEC-HMS مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج SMA را با بیشترین ضریب ناش - ساتکلیف، کمترین مجموع مربعات خطای وزنی و درصد خطای شبیه‌سازی حجم و بدهی اوج، برتر از سایرین نشان دادند. این امر می‌تواند ناشی از ساختار کامل شبیه در لحاظ تلفات برگاب و چالاب، و محاسبات

نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی آخوندعلی، ع. م.، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

۷. نجفی ایگدیر، ا. ج. قدوسی، ب. ثقفیان، و ج. پرهت. ۱۳۸۶. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهرچائی ارومیه، *مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، شماره ۷۶.

8. Ayka, A. 2008. Hydrological models comparison for estimation of floods in the Abaya-Chamo sub-basin M.S. thesis, Addis Ababa University, School of Graduate Studies.
9. Bennett, T.H. 1998. Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). MS thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.
10. Beven, k.j. 2005. Rainfall-runoff modeling: Introduction, 1857-1868 *In*: M.G. Anderson and J.R. McDonnell, (Eds). Encyclopedia of hydrological sciences. 3: Wiley Publication.
11. Boughton, W., and O. Droop. 2003. Continuous simulation for design flood estimation—a review, *Environ. Model. & Software* 18: 309–318.
12. Bondelid, T.R., R.H. McCuen, and T.H. Jackson. 2007. Sensitivity of SCS models to curve number variation. *J. Am. Water Resour. Associ.* 18: 111–116.
13. Boughton, W.C. 1989. A review of the USDA SCS curve number method. *Aust. J. Soil Res.* 27: 511 - 523.
14. Chahinian, N., R. Moussa, P. Andrieux, and M. Voltz. 2005. Comparison of infiltration models to simulate flood events at the field scale. *J. Hydrol.* 306: 191–214.
15. Cunderlik, J.M., and S.P. Simonovic. 2004. a. Selection of calibration and verification data for the HEC-HMS hydrologic model, CFCAS project: Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions, The University of Western

همان طور که به وسیله‌ی محققین دیگر نیز نشان داده شده است (بوتون و دروپ، ۲۰۰۳؛ اسماعیلی، ۱۳۸۷؛ سید کابلی، ۱۳۸۷). بررسی تاثیر تغییرات زمانی و مکانی بارش بر ویژگیهای رواناب در ادامه‌ی تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت. مجموعه‌ی فراسنجهای حاضر، حاصل واسنجی دستی است. مجموعه‌ی های دیگر می‌توانند منجر به عملکرد بهتر شبیه‌گردند، که دستیابی به آنها از روشهای معکوس، نظیر امکان پذیر است (جین و همکاران، ۲۰۱۰). همان طور که مشاهده شد، روش پیوسته‌ی SMA در شبیه‌سازی تک واقعه‌ای برتر شناخته شد، لذا استفاده از آن در شبیه‌سازی تک واقعه‌ای بارش-رواناب نیز توصیه می‌شود.

منابع

۱. اسماعیلی، ه. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل‌های مختلف تلفات بارش در تخمین هیدروگراف سیلاب (مطالعه موردی حوضه امامه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی آخوندعلی، ع. م.، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
۲. پرهت، ج. ب. ثقفیان، و ج. صدقی. ۱۳۸۴. بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در حوضه‌های بدون آمار برف: مطالعه موردی حوضه خرسان در کارون، *تحقیقات منابع آب ایران*، بهار ۱۳۸۴، ۱(۱) ۱-۱۱.
۳. رضوی، س.س. و س.ج. موسوی. ۱۳۸۷. کالیبراسیون خودکار مدل بارش-رواناب HEC-HMS با استفاده از بهینه‌ساز الگوریتم ژنتیک، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
۴. سید کابلی، ح. ۱۳۸۷. ارزیابی کاربرد چهار مدل تلفات در برآورد رواناب سطحی حوضه آبریز کسلیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی آخوندعلی، ع. م.، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
۵. غفوری، م. ۱۳۸۸. ارزیابی روشهای مفهومی و فازی در مدل‌سازی جریان رودخانه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی طاهری شهرآیینی، حمید و ثقفیان، بهرام، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.
۶. سید کابلی، ح. ۱۳۸۷. ارزیابی کاربرد چهار مدل تلفات در برآورد رواناب سطحی حوضه آبریز کسلیان، پایان

- Goodwin Creek Watershed using SWAT, Trans. ASAE. 42: 919-925.
24. Mc Lin, S.G., E.P. Springer, and L.G. Lane. 2001. Predicting floodplain boundary changes following the Cerro Grande wildfire. *Hydrol. Proc.* 15: 2967–2980.
 25. Mishra, S.K. and V.P. Singh. 2004. Validity and extension of the SCS-CN method for computing infiltration and rainfall-excess rates. *Hydrol.Proc.* 18: 3323–3345.
 26. Pincovschi, I., D.E. Gogoase Nistoran, I. Armas, and E. Rotaru. 2007. Use of HEC-HMS rainfall-runoff model in the Subcarpathian Prahova Valley-Romania, *Geophys. Res. Abst.* 9: 05982.
 27. Ponce, V.M. and R.H. Hawkins. 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? *J. hydrol.eng.* 1: 11-19.
 28. Quan, N.H. 2006. Rainfall-runoff modeling in the ungauged Can Le catchment, Saigon River Basin, M.S. thesis, International Institute for Geo-Information sci. Earth observation. Enschede, the Netherlands.
 29. Schindler, H. and G. Gutknecht. 2006. A tool for rapid flood Warning based on HEC-HMS. *Geophys. Res. Abst.* 8: 08344.
 30. Shi, Z.-H., L.-D.Chen, N.-F.Fang, D.-F. Qin and Ch.-F. CAI. 2009. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China *Catena* 77: 1-7.
 31. US-ACE. 2000. Hydrologic modeling system HEC-HMS. Technical reference manual. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.
 32. US-ACE. 2010. Hydrologic modeling system HEC-HMS. User's manual, Version 3.5. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
 16. Ontario, Department of civil and environmental engineering, Project Report II.
 16. Cunderlik, J.M., and S.P. Simonovic. 2004. b. Calibration, verification and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model, CFCAS project: Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions, The University of Western Ontario, Department of Civil and Environmental Engineering, Project Report IV.
 17. Cunge, J.A. 1969. On the subject of a flood propagation computation method, *J. hydrau. Res.* 7: 205-230.
 18. Cydzik, K., and T.S. Hogue. 2009. Modeling post fire response and recovery using the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). *J. Am. Water Resour. Associ.* 45: 702–714.
 19. Flemming, M., and V. Neary. 2004. Continuous hydrologic modeling study with the hydrologic modeling system. *J. Hydrol. Eng.* 9:175-183.
 20. Garcia, A., A. Sainz, J.A. Revilla, C. Alvarez, J.A. Juanes, and A. Puente. 2008. Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain, *J.hydrol.* 356: 312–326.
 21. Golian, S., B. Saghafian, M. Elmi, and R. Maknoon. 2010. Derivation of probabilistic thresholds of spatially distributed rainfall for flood forecasting. *Water Resour. Manage.* 24: 3547-3559.
 22. Grimaldi, S., A. Petroselli, and F. Nardi. 2012. A parsimonious geomorphological unit hydrograph for rainfall–runoff modelling in small ungauged basins, *Hydrol. Sci. J.* 57: 73-83.
 23. King, K.W., J.G. Arnold, and R.L. Bingner. 1999. Comparison of Green-ampt and curve number methods on

