نشریه
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering
سال هفتم- شماره ۲۰- بهار ۱۳۹۲
Vol. 7, No. 20, Spring 2013

مقایسه مدل‌های SCS و SMA-B در برآورد سیلاب حوزه آبخیز رود زرد

شایان شامحمدی[1] و مهدی زمردیان[2]

تاریخ دریافت:۸۹/۰٤/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۲/۱۹

چکیده

هدف از این پژوهش، مقایسه مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا(SCS) و رطوبت خاک بنت (SMA-B) در شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب می باشد. برای این کار از داده‌های بارش- رواناب حوضه رود زرد در شرق استان خوزستان و مدل آب‌شناختی HEC-HMS استفاده شد. ابتدا عامل‌های فیزیوگرافی حوضه جمع‌آوری و مورد مطالعه قرار گرفت. سپس از آمار بارش ثبت شده محدوده حوضه و سیلاب‌های متناظر، در ایستگاه "ماشین" استفاده گردید. برای مقایسه مدل‌ها، از مجموع ٦ سیلاب انتخابی، ۳ رگبار- رواناب برای واسنجی و ۳ رگبار- رواناب برای مقایسه مدل‌ها انتخاب گردید. نتایج نشان داد که مدل SCS توانایی برآورد تلفات تبخیر و تعرق و نگهداشت سطحی در زمان بارش را ندارد و در سیلاب‌های با زمان پایه زیاد از خطای قابل ملاحظه در برآورد دبی اوج و حجم سیلاب برخوردار است. از آزمون‌های آماری خطای میانگین باقیمانده، ضریب جرم باقیمانده، خطای نسبی ریشه میانگین مجذور باقیمانده و نمایانه تطابق در محاسبه خطای براورد آبنمودهای شبیه‌سازی شده با آبنمود واقعی حوضه استفاده گردید. نتایج تحلیل آماری نیز نشان داد که آبنمود حاصل از مدل رطوبت خاک(SMA-B) از رتبه بهتری در آزمون‌های آماری برخوردار است. مدل SMA-B در همه سیلاب نیز دارای کمترین اختلاف در برآورد دبی و کمترین اختلاف در برآورد آبنمود (حجم سیلاب) می باشد.

واژه‌های کلیدی: ***مدل بارش- رواناب؛ حوضه رود زرد؛ شماره منحنی؛ میزان رطوبت خاک بنت؛ HEC-HMS و SMA-B.***

مقدمه

استفاده از مدل‌های بارش- رواناب یکی از روش‌های محاسبه داده‌های جریان در بسیاری از پروژه‌های مهندسی منابع آب است. از طرفی مدل‌ها به طور عام دارای ساختار پیچیده و معادلات غیرخطی هستند. به همین دلیل شبیه‌سازی روند بارش- رواناب بسیار مشکل بوده و نیاز به یک مدل دقیق و در عین حال ساده برای شبیه‌سازی داده‌های جریان آب ضروری می باشد [۲۱].

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های وسیعی برای معرفی و ارزیابی مدل‌های مختلف بارش- رواناب انجام گرفته است. از جمله این پژوهش‌ها که در حوضه رود زرد(حوضه معرف "برنامه ده ساله بین‌المللی آب شناختی") انجام گرفته است، می‌توان به ارزیابی مدل در شبیه‌سازی دبی حداکثر سیلاب توسط روغنی و همکاران [۹] اشاره نمود. نتایج مطالعات نشان داد که مدل RAFTS-XP دارای کارایی مناسبی جهت تهیه آبنمود سیل و برآورد دبی حداکثر سیلاب می‌باشد. [۲]، مدل‌های HEC-HMS و شبکه عصبی را برای شبیه‌سازی بارش رواناب در حوزه آبریز رود زرد مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعات [٤] نشان می دهد که مدل HEC-HMS از توانایی خوبی در شبیه‌سازی بارش- رواناب. به شبیه‌سازی رواناب سطحی و تبخیر و تعرق حوزه آبریز معرف رودخانه زرد با استفاده از مدل استانفورد-٤ پرداختند.هاریت و باتس [۱۰]، با استفاده از شبکه عصبی به پیش‌بینی جریان رودخانه پرداخته و نتایج مناسبی بدست آوردند. میشرا و سینگ [۱]، دو شبکه عصبی مصنوعی RBF و MLP را در برآورد جریانات رودخانه‌ای بکار بردند و نشان دادند، شبکه RBF از خطای کمتر و ضریب همبستگی بالاتری در مقایسه با شبکه MLP برخوردار است. اشنایدر و مک کوئین [۵]، به بررسی توزیع مکانی شدت سیل‌خیزی در واحدهای آب شناختی با استفاده از شماره منحنی پرداختند و به نتایج مناسبی رسیدند. لانا رنولت [۸]، با استفاده از مدل‌های آب شناختی مقادیر رواناب و رابطه بین دبی و رسوب را مورد پژوهش قرار دادند. میشرا و سینگ [۱۱]، کاربرد فن‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه شماره منحنی جهت برآورد رواناب را بررسی نموده و نقشه شماره منحنی را ترسیم نمودند. همچنین. مطالعات با استفاده از روش SCS و مدل HEC-HMS نشان داد که رواناب حوضه‌ها رابطه مستقیمی با مساحت خوضه دارد [۱۲و۱۳]. مدل شماره منحنی[3]

۱- نویسنده مسئول و دانشیار گروه آب دانشگاه شهرکرد
۲ - کارشناس ارشد مهندسی آب

3- Curve Number

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه رود زرد تا ایستگاه ماشین

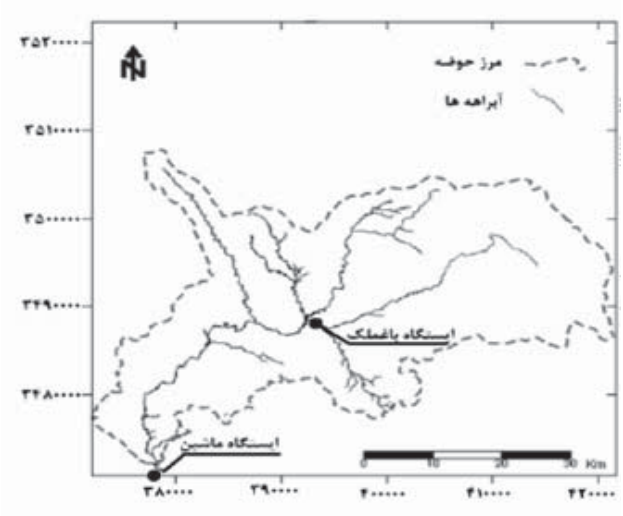
خصوصیات	مقدار
مساحت حوضه (Km^2)	۸۶۰/۷۵
محیط (Km)	۱۹۳/۶
ارتفاع متوسط (m)	۱۲۰۱
شیب حوضه (٪)	۳۱/۶
طول آبراهه (Km)	۷۷/۴
شیب متوسط آبراهه (٪)	۳/۰
شیب ناخالص آبراهه (٪)	۱/۸
ضریب گراویلیوس	۱/۸۳
ضریب شکل	۰/۱۲

توسط گروه کشاورزی[1] و سازمان حفاظت خاک[2] ایالات متحده توسعه داده شد و در راهنمای ملی مهندسی معرفی گردید [۳۳]. این مدل یکی از روش‌های متداول در برآورد میزان رواناب در یک بارندگی مشخص است [۲۵]. دلیل این موفقیت درنظر گرفتن تاثیر بسیاری از عامل‌های موثر در تولید رواناب شامل نوع خاک، کاربری و مدیریت اراضی، شرایط خاک سطحی و شرایط پیشین رطوبت خاک در یک عامل واحد به نام شماره منحنی و همچنین سادگی و قابل درک بودن این مدل می‌باشد [۲۵]. مدل شماره منحنی امروزه نه تنها در ارزیابی سیلاب حوضه کاربرد دارد، بلکه بخشی از مدل‌های شبیه‌سازی طولانی مدت و بسیار پیچیده نیز می‌باشد [۱۸، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۳۲].

مدل شماره منحنی یک مدل تلفات نفوذ می‌باشد و بخش‌های گسترده‌ای مانند تبخیر و تعرق و نگهداشت سطحی را بحساب نمی‌آورد [۲۰]. هر چند در وقایع کوتاه مدت نفوذ اصلی‌ترین بخش تلفات است، اما با افزایش مدت بارش عامل‌های دیگر نیز اهمیت پیدا می‌کنند که این مدل قادر به تحلیل آنها نیست [۱۵، ۳۰]. برای حل این مشکلات، در دوره‌های مختلف، مدل‌های گوناگونی از جمله مدل‌های میزان رطوبت خاک[3] توسعه داده شدند. این مدل‌ها به سبب حساسیت بارش مازاد به شرایط رطوبتی پیشین خاک برای مدل‌های پیوسته زمانی کارآمد هستند [۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۹]. بسیاری از این مدل‌ها دارای مفهوم فیزیکی اندکی بوده [۳۱] و بخش وسیعی از پژوهش‌های به روش‌های واسنجی آن‌ها اختصاص داده شده است [۱۹]. مدل رطوبت خاک بنت یکی از مدل‌های SMA است که برای توفان‌های بزرگ واسنجی شده است [۲۸].

هدف از این پژوهش واسنجی مدل رطوبت خاک بنت (SMA-B) حوزه آبخیز رود زرد و مقایسه آن با مدل SCS می‌باشد.

1- U.S. Department of Agriculture
2-Soil Conservation Service
3- Soil Moisture Accounting



شکل ۱- موقعیت ایستگاه بارانسنجی باغملکو هیدرومتری ماشین در حوضه

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز رود زرد در جنوب غربی ایران در محدودهٔ رشته کوه‌های زاگرس بین ۴۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱).

جمع‌آوری اطلاعات

در این حوضه ۹ ایستگاه هواشناسی قرار دارد که ایستگاه باران‌نگار باغملک به دلیل قرار گرفتن در مرکز حوضه و مجهز بودن به باران‌سنج ثبات، تشتک تبخیر کلاس A و تجهیزات اندازه‌گیری درجه حرارت و سرعت باد و همچنین طول دوره آماری مناسب بعنوان ایستگاه نماد انتخاب گردید. این ایستگاه در ارتفاع ۶۷۵ متری از سطح دریا و مختصات جغرافیایی ´۵۳ °۴۹ طول شرقی و ´۳۱ °۳۱ عرض شمالی واقع شده است. از دیگر ایستگاه‌ها نیز برای کنترل و تدقیق آمار و همچنین محاسبه بارندگی میانگین حوضه در رگبارهای انتخابی استفاده گردید. برای بررسی اطلاعات آبدهی حوضه نیز از ایستگاه آب سنجی ماشین که در خروجی حوضه قرار دارد استفاده شده است. این ایستگاه مجهز به لیمنوگراف و پل تلفریک بوده و در مختصات ´۴۳ °۴۹ طول شرقی و ´۰۰ °۳۵ عرض شمالی واقع است. در نهایت با مراجعه به منطقه اطلاعات مربوط به خاک و پوشش گیاهی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. برای تکمیل اطلاعات از گزارش‌های مطالعات کشاورزی و خاک‌شناسی مرحله دوم مطالعات سد جره نیز استفاده گردید.

پس از بررسی اطلاعات ایستگاه ماشین در دوره آماری۸۶-۱۳۴۹، ۷۰ سیلاب اولیه انتخاب گردید که تنها در ۳۷ مورد داده‌های آب

شناختی و داده‌های بارندگی متناظر با آن در ایستگاه باغملک ثبت گردیده بود. از این تعداد، فقط ۱۳ سیلاب ثبت شده دارای بارش فراگیر بر روی تمامی سطح حوضه که در نهایت با توجه به تطابق زمانی بارش و سیلاب، ٦ سیلاب همراه با بارندگی‌های متناظر انتخاب گردید. از ٦ رگبار استخراج شده ۳رگبار برای واسنجی مدل‌ها و ۳ رگبار برای ارزیابی مدل‌ها بکار گرفته شد.

جدول (۲) ویژگی رگبارهای انتخابی را نشان می‌دهد. برای محاسبه‌هایتوگراف بارندگی، مقادیر بارش با تناوب زمانی یک ساعت از روی کاغذ باران‌نگار استخراج و با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی و خطوط همباران میانگین بارش در حوضه محاسبه گردید. همچنین مقادیر دبی متناظر با فواصل ۲ ساعت از هیدروگراف مشاهده‌ای ایستگاه ماشین استخراج گردید. پس از آن برای رسم آبنمود سیل مشاهده‌ای، از روش تفکیک دبی پایه ثابت استفاده گردید و مقادیر رواناب حوضه به ازاء رگبارهای مختلف محاسبه گردید.

۳- مدل شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی حوضه از نرم‌افزار HEC-HMS نسخه ۳/۳ که توسط گروه مهندسین ارتش آمریکا تولید شده و شامل هر دو مدل SCS و SMA می‌باشد، استفاده شده است. این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی آب شناختی شامل روش‌های گوناگونی برای برآورد تلفات، رواناب مستقیم، جریان پایه و روندیابی می‌باشد.

٤- روش سازمان حفاظت خاک

سازمان حفاظت خاک آمریکا بارش موثر در تولید رواناب را بصورت تابعی از بارش تجمعی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و رطوبت قبلی خاک با رابطه(۱) معرفی کرد:

$$P_a = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \qquad (۱)$$

که در آن Pe، بارش مازاد به میلی‌متر، P، عمق بارش تجمعی به میلی‌متر و S، حداکثرتوان نگهداشت به میلی‌متر است که معرف توانایی حوضه در جذب و نگهداری بارش (رابطه۲):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (۲)$$

که در آن CN، عامل بی‌بعد شماره منحنی می‌باشد و بر اساس نوع خاک، میزان رطوبت و نوع پوشش گیاهی مقدار آن بین ۳۰- ۱۰۰در شرایط مختلف تغییر می‌کند [۳۳].

۵- روش میزان رطوبت خاک بنت

یکی از مدل‌های موجود در ابزار HEC-HMS است. این مدل بر اساس مدل بارش- رواناب PRMS لیوزلی [۲۲] که توسط بنت [۱۵] جزییات آن تشریح شد، تهیه گردیده است. این مدل حرکت آب و ذخیره آن را در گیاهان، سطح خاک، عمق خاک و لایه‌های زیرزمینی شبیه‌سازی کرده و با داشتن مقدار بارش و تبخیر و تعرق بالقوه، مدل جریان سطحی و جریان آب زیرزمینی، تلفات ناشی از تبخیر و تعرق بالقوه و نفوذ را برای کل حوضه آبریز محاسبه می‌کند.

٦- برآورد و واسنجی

با استفاده از اطلاعات کاربری اراضی، خاکشناسی و پوشش منطقه مقادیر عامل‌های مورد نیاز هر روش و با استفاده از روش تابع هدف درصد خطای دبی اوج برآورد و مقدار آن واسنجی شد(رابطه ۳).

$$F = 100\left|\frac{Q_{O(Peak)} - Q_{E(Peak)}}{Q_{O(Peak)}}\right| \qquad (۳)$$

در این رابطه QO، دبی مشاهده شده و QE، دبی برآورد شده توسط مدل می‌باشد.

که در آن، Pi و Oi به ترتیب مقادیر برآورد شده و مشاهده شده، Ō میانگین مقادیر مشاهده شده در بازه‌های زمانی یک ساعته و n تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

۷- ارزیابی مدل‌ها

پس از واسنجی مدل، سه رگبار که از نظر ویژگی‌های بارش و

جدول ۲- مشخصات رگبارهای مورد استفاده

رگبار	شماره ۱	شماره ۲	شماره ۳	شماره ٤	شماره ٥	شماره ٦
تاریخ شروع	۱۳٥٦/۸/۲۰	۱۳٥۸/۱۱/۳	۱۳٦٥/۹/۲۸	۱۳٦٦/۱۰/۲	۱۳۷۱/۱۱/۱۱	۱۳۷۳/۸/۲٥
ساعت شروع	۲۳:۰۰	۰۱:۰۰	۱۸:۰۰	۱۹:۰۰	۲۰:۰۰	۱۱:۰۰
تاریخ خاتمه	۱۳٥٦/۸/۲۲	۱۳٥۸/۱۱/٥	۱۳٦٥/۹/۳۰	۱۳٦٦/۱۰/۳	۱۳۷۱/۱۱/۱٤	۱۳۷۳/۸/۲٦
ساعت خاتمه	۰٥:۰۰	۰۸:۰۰	۲۰:۰۰	۱۲:۰۰	۱۸:۰۰	۰٥:۰۰
تداوم (ساعت)	۳۱	٥٦	۲۷	۱۸	۹٥	۱۸
عمق بارش(میلیمتر)	۱۰۱/۹	۱۰۷/۲	۱۳۰	٥٤/۸	۲۰۰/۷	۸۳/٦
مجموع بارندگی ٥ روز قبل	۰/٥	۱۱/٥	۰	۱۲	۰	۰

جدول ۳- نتایج واسنجی سیلاب‌ها توسط روش SMA-B

شماره رگبار	شماره ۱	شماره ۲	شماره ۳
تاریخ وقوع	۱۳۵٦/۸/۲۰	۱۳۵۸/۱۱/۳	۱۳٦۵/۹/۲۸
نگهداشت پوشش گیاهی (میلیمتر)	۱/۵	۱/۷	۳
نگهداشت خاک سطحی (میلیمتر)	۱۲/٤	۸/۳	۲۳
حداکثر سرعت نفوذ خاک سطحی (میلیمتر در ساعت)	۳۸/٤	۲۰	۳٦
نگهداشت خاک (میلیمتر)	٤۰/٤	٤۰	٤۱
ذخیره کشش خاک (میلیمتر)	۷/۲	۷/۵	۹
سرعت نفوذ عمقی خاک (میلیمتر در ساعت)	۱/۲	۱/٤٦	۱/۹
نگهداشت آب زیرزمینی (میلیمتر)	۲۱/۳	۲۱/۳	۲۱/۳
سرعت نفوذ آب زیرزمینی (میلیمتر در ساعت)	۷	۲/۵	۷
ضریب لایه آب زیرزمینی	۲/۷	۳	۳
زمان تمرکز (دقیقه)	۲۱٦	۲۷۰	۱۹۲
اختلاف دبی اوج محاسبه شده و مشاهده شده بر حسب مترمکعب بر ثانیه (درصد)	-۱۲/۹ (۱/٦۷)	-۰/٤ (۰/۰۳۲)	-٤/۸ (۰/۷۱)

رطوبت اولیه خاک، مشابه سه رگبار بکار رفته در مرحله واسنجی بودند، برای مقایسه کارایی دو روش استفاده شد. برای این کار، با استفاده از بارندگی و آبنمود متناظر آن و بکارگیری ضرایب و عامل‌های منتخب در مرحله واسنجی، نتایج و خروجی مدل برای سه رگبار منتخب، مورد بررسی قرار گرفت. در ارزیابی پس از شبیه‌سازی سیلاب، برای بررسی دقت مدل‌های مورد مطالعه از عامل‌های آماری خطای میانگین باقیمانده[1]، ضریب جرم باقیمانده[2]، همچنین خطای نسبت ریشه میانگین مجذور باقیمانده[3] و نمایانه تطابق (d) استفاده گردید[٦، ۷]. معادلات [۳، ٤، ۵ و٦] روش محاسبه عامل‌های را نشان می‌دهد.

$$MRE = \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)/n \qquad (٤)$$

$$CRM = (\sum_{i=1}^{n} P_i - \sum_{i=1}^{n} O_i)/\sum_{i=1}^{n} O_i \qquad (۵)$$

$$RRMSE = 100[\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2/n]^{1/2}/\overline{O} \qquad (٦)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_I'| + |O_i'|)^2} \qquad P_i' = P_i - \overline{O} \quad O_i' = O_i - \overline{o} \qquad (۷)$$

1- Mean Relative Error
2- Remainded of Coefficent Mass
3- Relative Root Mean Square Error

نتایج و بحث

۱ - برآورد و واسنجی

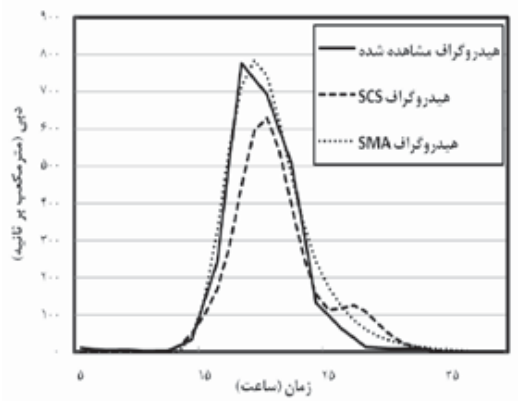
برای واسنجی مدل HEC-HMS از روش بهینه‌سازی استفاده شده است. در این روش پس از هر مرحله بهینه‌سازی و ایجاد تغییر در عامل‌های ورودی مدل آبنمود شبیه‌سازی شده با آبنمود مشاهده‌ای حوضه مقایسه و میزان تغییرات پس از هر مرحله مورد بررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی و بررسی صحت ضرایب و عامل‌های بکار برده شده در واسنجی مدل‌های آب شناختی از سه رگبار استفاده گردید. واسنجی سیلاب‌ها توسط دو روش ارایه شده است(جداول ۳ و ٤). بررسی شماره منحنی(CN) در جدول(٤) نشان می دهد که CN در محدوده ٦۸ تا ۸۱ تغییر می کند. دلیل آن را می توان ناشی از بروز شرایط مختلف در زمان وقوع سیلاب از جمله شرایط رطوبتی قبل از بارش و شدت بارندگی دانست. زمان تمرکز در روش SMA بین ۱۹۲ تا ۲۷۰ دقیقه تغییر می کند، در صورتی که در روش SCS بین ۱٦۸ تا ۲۱۷/۷ دقیقه تغییر می کند. به عبارت دیگر تغییرات زمان تمرکز در روش SCS حدود ۳۰ دقیقه کمتر از روش SMA می‌باشد، و نشان می دهد که زمان تمرکز در روش SCS با احتمال، از پایداری بیشتری برخوردار است. دلیل آن را می توان کوچک بودن حوضه آبخیز (زمان تمرکز کمتر از ٦ ساعت)دانست. این نتایج با نتایج مطالعات [۱۲ و ۱۸] مطابقت دارد. همچنین بررسی دبی اوج سیلاب نشان می دهد که در هر دو مدل، بخوبی واسنجی شده و حداکثر خطای مقدار دبی در روش SMA، ۱/٦۷٪ و در روش SCS، ٤/۷٪ می باشد.

جدول ٤- نتایج واسنجی سیلاب‌ها توسط روش SCS

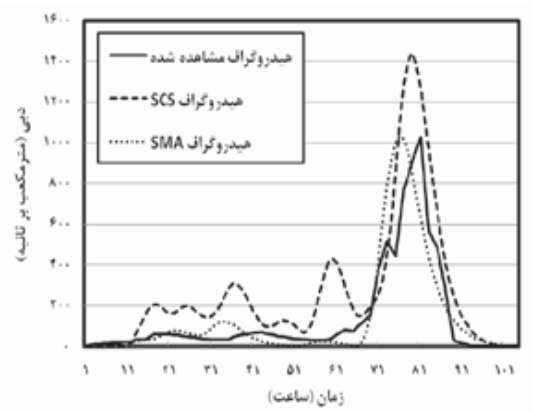
شماره رگبار	شماره ۱	شماره ۲	شماره ۳
تاریخ وقوع	۱۳٥٦/۸/۲۰	۱۳٥۸/۱۱/۳	۱۳٦٥/۹/۲۸
زمان تمرکز (دقیقه)	۲۱۷/۷	۱۹۸	۱٦۸
مقدار اولیه تلفات (میلیمتر)	۲٦/٥	۲٤/۷	۲۸/۹
شماره منحنی	۸۱	۷۸	٦۸
اختلاف دبی اوج محاسبه شده و مشاهده شده بر حسب مترمکعب بر ثانیه (درصد)	-۸/۷ (۱/۱۲)	-٥/۸ (٤/۷)	-٤/۳ (۰/٦٤)

جدول٥- اختلاف دبی اوج و مجموع خطای حجم سیلاب برآورد شده با سیلاب مشاهده‌ای را نشان می‌دهد

سال	SCS		SMA	
	اختلاف دبی اوج سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)	مجموع مربع خطای حجم سیلاب(متر مکعب)	اختلاف دبی اوج سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)	مجموع مربع خطای حجم سیلاب (متر مکعب)
۱۳٦٦	۱٤٦	۱۷۲٥/۷	۹/٤	۱٦۷٥/۸
۱۳۷۱	٤۱٦/۲	۱٤۱٥۳/٥	۷/۱	٦٥۷۳/٤
۱۳۷۳	٥۸/۲	۱٥۷٤/٦	۱۹	۱٥۲٤/٥



شکل ۲- آبنمودهای محاسبه شده و مشاهده شده رگبار سال ۱۳٦٦(CN=۸۱)



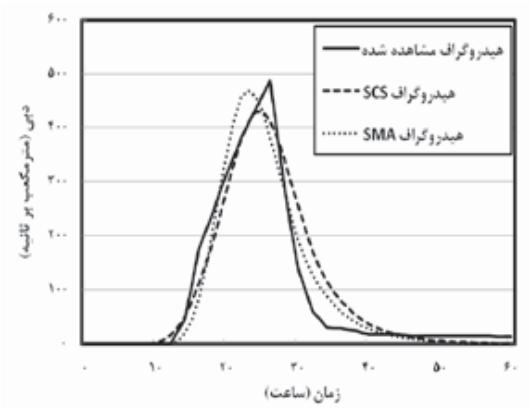
شکل ۳- آبنمودهای محاسبه شده و مشاهده شده رگبار سال ۱۳۷۱ (CN=۷۸)

۲- نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی مدل‌ها

با استفاده از نتایج واسنجی اقدام به شبیه‌سازی رگبارهای شماره ٤، ٥ و ٦ گردید. شکل‌های (۳)، (٤) و (٥)آبنمودهای شبیه‌سازی شده توسط دو مدل را نشان می‌دهد. همچنین جدول (٥) نتایج اختلاف دبی و مجموع خطای حجم سیلاب شبیه‌سازی را با سیلاب مشاهده ای نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود، در مدل SMA، اختلاف در دبی اوج بین ۷/۱ تا ۱۹ مترمکعب متغیر می‌باشد (جدول ٥) که حداکثر ۲/٤٪ خطا را نشان می‌دهد، در حالی که خطای دبی اوج به روش SCS بین ۷/٥ تا ۲۸/۸٪ می باشد. خطای تا حدودی زیاد در روش SCS، به دلیل عدم توانایی آن در تحلیل شرایط رطوبتی مختلف و متناوب خاک در یک بازه زمانی کوتاه است[۲۳، ۳۰]. همچنین در سیلابهای ناشی از رگبار کوتاه (شکل ۲ و ٤)، روش SCS دارای خطای کمتری در برآورد دبی اوج (٥۸/۲ متر مکعب بر ثانیه) و حجم سیلاب (۱٥۷٤/٦متر مکعب) است. در صورتی که در رگبار با تداوم بیشتر (شکل ۳)، اختلاف دبی اوج (٤۱٦/۲ مترمکعب بر ثانیه) و حجم سیلاب (۱٤۱٥۳/٥متر مکعب) زیاد بوده که با احتمال می تواند ناشی از عدم توانایی این مدل در برآورد تلفات تبخیر و تعرق و نگهداشت سطحی در زمان بارش باشد. همچنین روش SCS قادر به تحلیل تغییرات مکانی بارش نیست و نتایج خوبی در بارش‌های متراکم و پر شدت ندارد [۲۱].

جدول ٦- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌های محاسبه شده توسط مدل‌های SCS و SMA

روش شبیه‌سازی	روش میزان رطوبت خاک (SMA)				روش سازمان حفاظت خاک (SCS)			
	d	RRMSE	MRE	CRM	d	RRMSE	MRE	CRM
رگبار سال١٣٦٦	٠/٩٧	٩٩/٢٢٤	٦/٥١٣	٠/٠٤٩	٠/٩٦	١٠٤/٠٢٣	-٢٣/٤٠٠	٠/١٨٤
رگبار سال ١٣٧١	٠/٩٤	٧٧/٧٥٤	-٥/٧٢٦	-٠/٣٤٨	٠/٩٠	١٣١/٦٧٠	-١١٩/٩٩٥	-٠/٧٠٧
رگبار سال ١٣٧٣	٠/٩٨	٩٨/٤٩	-٠/٧٨٠	-٠/٠٠٨	٠/٩٧	١٠٠/٤٢	-٧/٠١٣	-٠/٠٦٧
رتبه	١	١	١	١	٢	٢	٢	٢
مجموع رتبه‌ها	٤				٨			



شکل ٤- آبنمودهای محاسبه شده و مشاهده شده رگبار سال ١٣٧٣(CN=٦٨)

در حالی که مدل SMA با لحاظ نمودن تلفات تبخیر و تعرق، نگهداشت سطحی و نفوذ عمقی در برآورد سیلاب در هر سه سیلاب دارای خطای دبی اوج و حجم بسیار کمتری می باشد.

برای تحلیل آماری مقایسه آبنمودهای شبیه‌سازی شده با آبنمودهای واقعی در مدل SCS و SMA، نتایج کاربرد نمایانه خطای میانگین باقیمانده، ضریب جرم باقیمانده، خطای نسبت ریشه میانگین مجذور باقیمانده و نمایانه تطابق در جدول (٦) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، رتبه مدل SMA در تمامی نمایانه‌ها کمتر بوده و در نتیجه در مجموع نیز از رتبه بهتری در برآورد آبنمود سیلاب‌های حوضه رود زرد برخوردار است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مدل SCS توانایی به برآورد تلفات تبخیر و تعرق و نگهداشت سطحی در زمان بارش را ندارد، و در سیلابهای با زمان پایه زیاد از خطای قابل ملاحظه‌ای در برآورد دبی اوج و حجم سیلاب برخوردار است. نتایج تحلیل آماری نیز نشان داد که آبنمودحاصل از مدل رطوبت خاک (SMA-B) از رتبه بهتری در آزمون‌های آماری برخوردار است. مدل SMA-B در همه سیلاب دارای کمترین اختلاف در برآورد دبی و کمترین اختلاف در برآورد آبنمود (حجم سیلاب) می باشد.

منابع

1- Mishra, S.K., Singh, V.P., 2002b. SCS-CN-based hydrologic simulation package. In: Singh, V.P., Frevert, D.K. (Eds.), Chapter 13 in Mathematical Models in Small Watershed Hydrology, Water Resources Publications, P.O. Box 2841, Littleton, Colorado 80161.

2- Mishra, S.K., Sansalone, J.J., Singh, V.P., 2004. Overland metal partitioning using SCS-CN concept. J. Environ. Eng. ASCE 130 (2), 145–154.

3- Jain, M.K., Kothyari, U.C., Ranga Raju, K.G., 2005. Geographic information system based distributed model for soil erosion and rate of sediment outflow from catchments. J. Hydraul. Eng. ASCE 131 (9), 755–769.

4- Merwade, V., 2009. Effect of spatial trends on interpolation of river bathymetry. Journal of

Hydrology 371, 169–181.

5- Schneider, L.E., McCuen, R.H., 2005. Statistical guidelines for curve number generation. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 131 (3), 282–290.

6- Lana-Renault, N., 2007. Respuesta hidrológica y sedimentológica en una cuenca de montaňa media afectada por cambios de cubierta vegetal: la Cuenca experimental de Arnؘs, Pirineo Central. Ph.D. thesis, Universidad de Zaragoza.

7- Baltas, E.A., Dervos, N.A., Mimikou, M.A., 2007. Technical note: determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. Hydrology and Earth System Sciences 11, 1825–1829.

8- Elshorbagy, A., Simonovic, S.P., 2000. Performance evaluation of artificial neural networks for runoff prediction. Journal of

Hydrologic Engineering, ASCE 5 (4), 424–427.

9- Mishra, S., Singh, V., Sansalone, J., Aravamuthan, V., 2003. A modified SCS-CN method: characterization and testing. Water Resources Management 17, 37–68.

10- Horritt, M.S., Bates, P.D., 2001. Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow. Journal of Hydrology 253, 239–249.

11- Mishra, S., Singh, V., 1999. Another look at SCS-CN method. Journal of Hydrological Engineering 4, 257–264.

12- Murillo, J., Garcia-Navarro, P., Burguete, J., 2009. Time step restrictions for wellbalanced shallow water solutions in non-zero velocity steady states. International Journal for Numerical Methods in Fluids 60, 1351–1377

13- SCS, 1964. SCS National Engineering Handbook. Soil Conservation Service, USA Department of Agriculture.

14- Arnold, J.G., P.M. Allen and G. Bernhardt. 1993. A comprehensive surface–groundwater flow model, Journal of Hydrology 142: 47–69.

15- 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.

16- Boughton, W.C. 1989. A review of the USDA-SCS curve number method, Australian Journal of Soil Research 27: 511–523.

17- Coles, N.A., M. Sivapalan, J.E. Larsen, P.E. Linnet and C.K. Fahrner. 1997. Modeling Runoff Generation on Small Agricultural Catchments: Can Real World Runoff Responses be Captured? Hydrologic Processes, 11: 111-136.

18- Geetha, K., S.K. Mishra, T.I. Eldho, A.K. Rastogi and R.P. Pandey. 2008. SCS-CN-based continuous simulation model for hydrologic forecasting, Water Resour. Manage. 22(2): 165-190.

19- Gibbs, M.S., H.R. Maier and G.C. Dandy. 2009. The use of GIS to derive distributed unit hydrographs for streamflow prediction, 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009. http://mssanz.org.au/modsim09.

20- Kannan, N., S.M. White, F. Worrall and M.J. Whelan. 2007. Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modelling in SWAT-2000, Journal of Hydrology (332): 456–466.

21- Lin, G.F. and C.M. Wang. 2007. A nonlinear rainfall-runoff model embedded with an automated calibration method, Journal of Hydrology (341): 186-195.

22- Leavesley, G.H., R.W. Lichty, B.M. Troutman and L.G. Saindon. 1983. Precipitation-runoff modeling system user's manual, Water-Resources Investigations 83-4238. United States Department of the Interior, Geological Survey, Denver, CO.

23- Michel, C., V. Andr´eassian and C. Perrin. 2005. Soil Conservation Service Curve Number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure? Water Resour. Res., 41, W02011, doi:10.1029/2004WR003191.

24- Mishra, S.K. and V.P. Singh. 1999. Another look at SCS-CN method, J. Hydrol. Eng. ASCE, 4(3): 257–264.

25- Mishra, S.K. and V.P. Singh. 2006. A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture

regionalisation, in Lambert, M., aniell, T. and Leonard, M. (Eds), Water Down Under, 14-17 April: 2315-2326.

32- Singh, P.K., P.K. Bhunya, S.K. Mishra and U.C. Chaube. 2008. A sediment graph model based on SCS-CN method, J. Hydrol., 349(1–2): 244–255.

33- Soil Conservation Service. 1972. "Hydrology" SCS National Engineering Hand book, Section 4.Washington, D.C.

34- Soulis, K., and N. Dercas. 2007. Development of a GIS-based spatially distributed continuous hydrological model and its first application, Water International, 32(1): 177–192.

35- Soulis, K., J.D. Valiantzas, N. Dercas and P.A. Londra. 2009. Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed, Hydrol. Earth Syst. Sci., (13): 605–615.

36- Williams, J.R., J.G. Arnold, R. Srinivasan. 2000. The APEX model. BRC Report No. 00–06 Blackland Research and Extension Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas A & M University System, Temple, TX.

condition criteria, Hydrol. Proc., 20(13): 2755–2768.

26- Mishra, S.K., K. Geetha, A.K. Rastogi and R.P. Pandey. 2005. Longterm hydrologic simulation using storage and source area concepts, Hydrol. Proc., 19(14): 2845–2861.

27- Moretti, G. and A. Montanari 2008. Inferring the flood frequency distribution for an ungauged basin using a spatially distributed rainfall-runoff model, Hydrol. Earth Syst. Sci., (12): 1141–1152.

28- Peters, J., personal communication. 1998. Peters, J., and Easton, D. (1996), Runoff Simulation Using Radar Rainfall Data, Water Resources Bulletin, 32, (4): 753-760.

29- Pilgrim, D.H. and I. Cordery. 1993. Flood Runoff, Handbook of Hydrology, Chapter 9, D.R. Maidment (ed.), McGraw-Hill, Inc.

30- Ponce, V.M. and R.H. Hawkins. 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering, American Society of Civil Engineers (1): 11–19.

31- Post, D., J. Vaze, F.H. Chiew and J. Perraud. 2008. Impact of rainfall data quality on the parameter values of rainfall-runoff models: implications for