دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تخمین آبنمود سیلاب حوزه آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ایدنک)

س. شکری کوچک[۱]، ع. ا. بهنیا[۲]، ف. رادمنش[۳] و ع. م. آخوند علی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران نویسنده مسوول: saeed.shokri88@yahoo.com
۲ و ۳- استاد و استادیار دانشگاه شهید چمران

چکیده

برای برآورد روآناب در حوزه آبخیز از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود که در این میان روش SCS کاربرد جهانی دارد. بنابراین استفاده از روش SCS و چگونگی شکل‌گیری آبنمود سیلاب موضوع اصلی این تحقیق را تشکیل می‌دهد. در این راستا به منظور تخمین سیلاب حوزه آبخیز ایدنک از مدل هیدرولوژیکی بارش- رواناب HEC-HMS استفاده شد. سپس با استفاده از تابع حداقل سازی مجموع مربعات باقیمانده نسبت به عملیات واسنجی اقدام گردید و در نهایت نتایج حاصل از مرحله واسنجی، اعتبارسنجی شد. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از مدل بدون واسنجی غیر قابل اعتماد است. تکیه بر برآورد پارامترهای مدل (I_a, CN) با استفاده از روابط تجربی و روش‌های معمول تطابق ضعیفی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به بار خواهد آورد و ضرورت واسنجی را اثبات می‌کند. در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل اختلاف دبی اوج آبنمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده همواره کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد و ضریب تبیین بین این آبنمودهای مشاهداتی و برآوردی ۰/۸۲ می‌باشد. نتایج مدل واسنجی شده دلالت بر کارایی مدل مذکور در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب دارد و نتایج اعتبارسنجی مدل در ارتباط با حجم رواناب مورد پذیرش نمی‌باشد. زیرا اختلاف بین حجم رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بیش از ۳۱ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیل، واسنجی و اعتبارسنجی، مدل HEC-HMS، حوزه آبخیز ایدنک

مقدمه

آب یکی از گرانبهاترین منبع ملی یک کشور است. این ارزش اساساً از آن جهت است که منبع تجدید شونده است و منافع اقتصادی و اجتماعی حاصل از مصرف درست آن اهمیت بسیار زیادی دارد. افزایش جمعیت همراه با ضعف برنامه‌ریزی برای بهره‌وری از زمین سبب شده است تا جنگل‌ها و مراتع تخریب شده یا به

زمین زراعی تبدیل شوند، در نتیجه آب کمتری در بالادست رودخانه‌ها به زمین نفوذ کرده و سریع‌تر به طرف دشت جریان پیدا کند. به این ترتیب سیل فراوان‌تر، شدیدتر و ناگهانی‌تر شده است و مردم آسیب‌های بیشتری از سیل می‌بینند. سیل یکی از انواع خطرهای طبیعی، است که خسارت زیادی به جوامع انسانی، تاسیسات، مراکز صنعتی و اراضی کشاورزی تحمیل می‌کند. در وضعیت موجود سطح مناطق سیل‌خیز در کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد گردیده است (۱۴). به عبارت دیگر، ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید روانآب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد می‌باشند (۱۴).

اهمیت سیلاب و نقش آن در زندگی بشر باعث جلب توجه به این پدیده طبیعی شده است. تحقیقات متعددی در راستای شناخت بزرگی و زمان وقوع سیل انجام شده و روش‌های مختلفی جهت برآورد ارتفاع رواناب ابداع گردیده است. از جمله روشهای معمول و متداول برای بررسی سیلاب شامل تحلیل‌های منطقه‌ای سیلاب، استفاده از روابط تجربی و بالاخره مدل‌های شبیه‌سازی بارش- رواناب می‌باشد. در خیلی از جاها بجای اینکه مدل‌سازی در هیدرولوژی را علم بدانند بیشتر به هنر می‌شناسند و احتمال اینکه این باور کماکان باقی باشد وجود دارد. قابل استفاده بودن نتایج مدل بستگی به استعداد و تجربه هیدرولوژیست و شناخت نکات دقیق و ظریف ریاضی خاص آن مدل و روشهای تحلیل مدل‌ها دارد (۸). مدل‌سازی بارش-رواناب یکی از موارد کلیدی در علوم هیدرولوژی و مدیریت محیط زیست برای دسترسی به خصوصیات سیلاب از قبیل میزان دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج به شمار می‌رود در این ارتباط واسنجی و اعتبارسنجی این مدل‌ها امری ضروری و گاهاً اجتناب ناپذیر است. به هر حال با توجه به روش‌های نوین در مدل سازی و نرم‌افزارهای موجود که موجب افزایش سرعت و کاهش زمان اجرای محاسبات گردیده، پژوهش‌ها و مطالعات مرتبط با مسائل هیدرولوژی پس از دهه‌ی ۱۹۵۰ به طور چشم‌گیر گسترش یافت (۳، ۴ و ۲۰). یکی از نرم‌افزارهای موجود جهت شبیه‌سازی و مدل‌سازی بارش- رواناب مدل HEC-HMS می‌باشد. این مدل با داشتن تنوع زیر مدل‌های موجود در آن کارایی و کاربرد وسیعی در بسیاری از نقاط دنیا دارد.

محمودیان شوشتری و همکارن (۹) به شبیه سازی جریان رودخانه کر و سیوند استان فارس با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. ایشان حوزه آبخیز را به ۱۷ زیرحوزه تبدیل کرده و سپس با ۳ ایستگاه آبسنجی مدل را واسنجی نمودند. مرید و همکاران (۱۱) جهت شبیه‌سازی بارندگی- رواناب حوزه‌های آبخیز استان هرمزگان، مدل HEC-HMS را مورد اعتبارسنجی قرار دادند. نتایج حاکی از مطلوب بودن شبیه‌سازی بارش- رواناب با

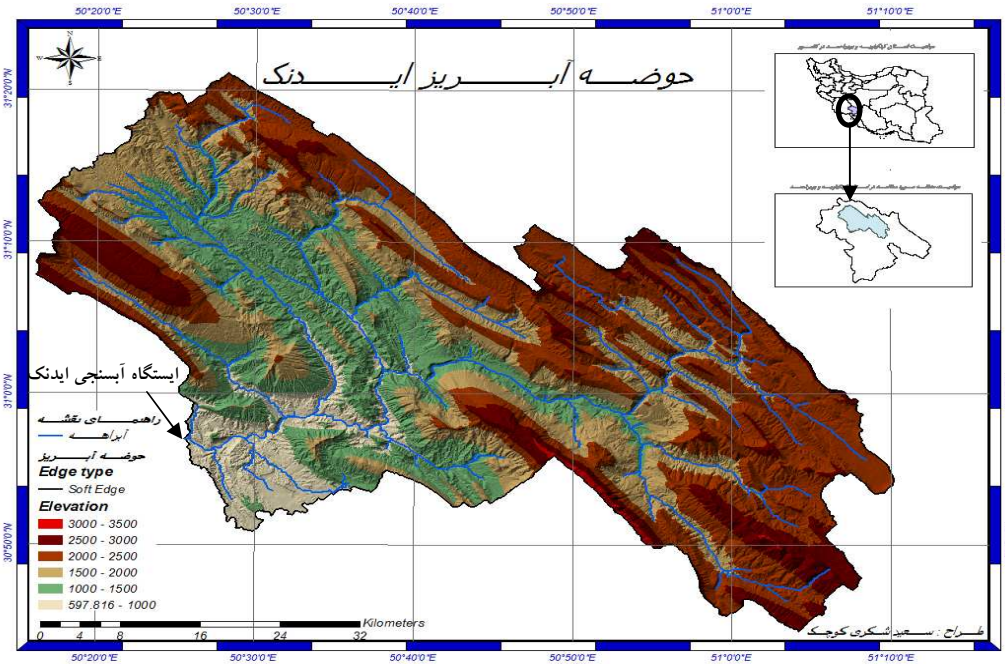
استفاده از این مدل می‌باشد. از دیگر موارد اعتبارسنجی مدل HEC-HMS می‌توان به مطالعات میر مهدی و همکاران (۱۰) در حوزه آبخیز رودخانه مارون و رادمنش و همکاران (۱۳) در حوزه آبخیز رود زرد اشاره کرد. ایشان با یکپارچه در نظر گرفتن حوزه آبخیز تا محل ایستگاه آبسنجی مدل را اجرا کردند. سید کابلی و همکاران (۱۷) با استفاده از این مدل به اعتبارسنجی روش‌های تلفات باران در شبیه سازی آبنمود سیل در حوزه آبخیز کسیلیان پرداختند و به برتری نسبی روش SCS نسبت به سایر روش‌ها اشاره داشتند. جندقی و همکاران (۶) در پژوهشی با استفاده از مدل HEC-HMS به بررسی تغییرات کاربری اراضی روی رژیم سیلابی حوزه‌های آبخیز کوچک در حوزه تقرتپه گرگان پرداختند. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات کاربری اراضی از سال ۴۹ تا ۸۰ باعث افزایش تدریجی در مقدار دبی سیل شده است. ثقفیان و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل HEC-HMS ابتدا مدل بارش- رواناب حوزه آبخیز سد گلستان را واسنجی و اعتبارسنجی نمودند سپس به بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی این حوزه پرداختند. نتایج شبیه سازی نشان دادند که دبی اوج سیلاب‌ها با دوره بازگشت ۵ و ۱۰۰۰ سال به علت تغییرات کاربری اراضی در سطح حوزه به ترتیب ۳۱/۷ و ۱۷/۸ درصد افزایش یافته است. خسروشاهی و همکاران (۷) با استفاده از مدل HEC-HMS به بررسی نقش مشارکت زیر حوزه‌های آبخیز در شدت سیل‌خیزی حوزه اقدام نمودند. ایشان با ۳ رویداد مدل بارش- رواناب را واسنجی نموده اما به دلیل عدم یکسان بودن شرایط رطوبتی پیشین رویدادها، اعتبارسنجی مدل برای آنها امکان پذیر نبوده است. ثقفیان و همکاران (۱۶) برای تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیکی حوزه سد گلستان از مدل HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند. ایشان حوزه را به ۲۱ زیرحوزه تقسیم کرده و جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل بارش- رواناب از سه ایستگاه آبسنجی بهره جستند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولوژیکی می‌توان اثرات متقابل عوامل فیزیوگرافیک و اقلیمی را به نحو مطلوبی نشان داد. در این مقاله ضمن استخراج آبنمود سیل خروجی به واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS و بهینه نمودن پارامترهای مدل شبیه‌ساز بارش- رواناب پرداخته شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه مارون در طول مسیر خود تا محل ایستگاه آبسنجی ایدنک واقع در مجاورت دهکده ایدنک از الحاق آبراهه‌های مختلف تشکیل شده است و رواناب حاصل از نزولات

جوی منطقه‌ای به وسعت ۲۷۵۱/۸۶۵ کیلومترمربع را زهکشی می‌نماید. این بخش از حوزه رودخانه مارون توسط حوزه‌های آبخیز زهره و کارون احاطه گردیده و کاملاً در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه.

روش تحقیق

در این تحقیق به منظور استخراج آبنمود سیل خروجی از روش شبیه سازی هیدرولوژیکی در تبدیل بارش به رواناب در سطح زیر حوزه‌ها و روندیابی آبرهه‌های اصلی استفاده شده است. مراحل تحقیق به شرح زیر است.

۱- تهیه نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ حوزه آبخیز منطقه مورد مطالعه.

۲- تهیه آمار و اطلاعات بارندگی و رواناب از کلیه ایستگاه باران سنجی ثبات و معمولی و ایستگاه آبسنجی ایدنک از شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد و سازمان آب و برق خوزستان.

۳- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی پوشش گیاهی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد.

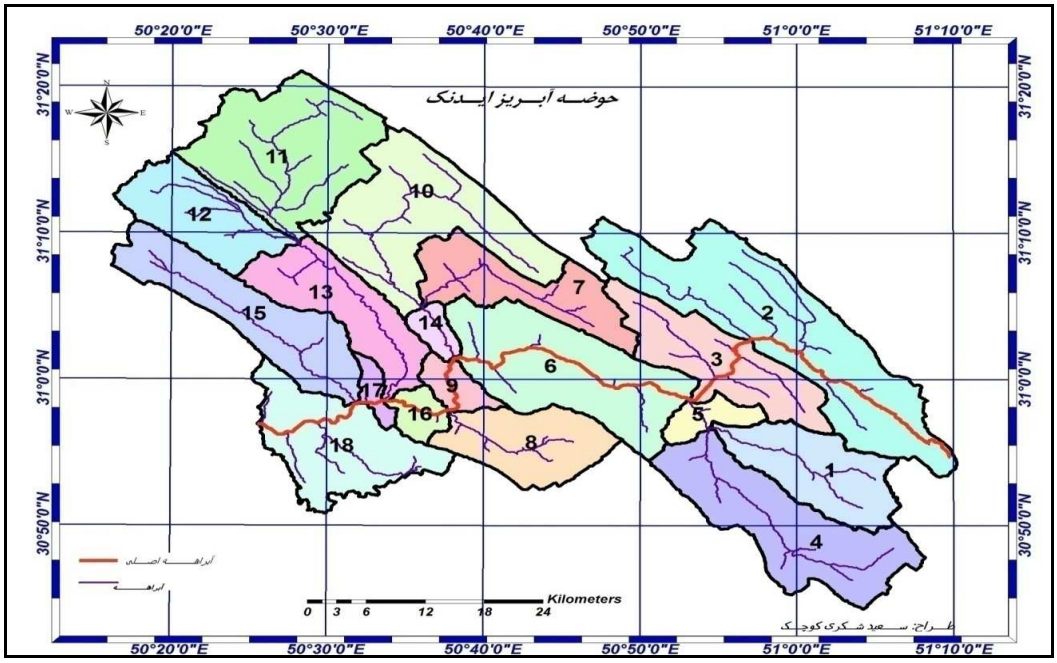
۴- تهیه اطلاعات کامل فیزیوگرافی و تفکیک زیرحوزه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و کاربرد دو برنامه الحاقی Arc Hydro و HEC-GEO HMS.

۵- برآورد اولیه پارامترهای مدل.

۶- واسنجی مدل و اعتبارسنجی مدل.

۱)مطالعات فیزیوگرافی حوزه

به منظور فراهم نمودن داده‌های لازم برای انجام این تحقیق ابتدا جهت مطالعات فیزیوگرافی حوزه آبخیز منطقه مورد مطالعه و اطراف محدوده مورد مطالعه ۳۰ شیت نقشه ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه- برداری کشور را با استفاده از نرم افزار AUTOCAD رقومی کرده و با استفاده از نرم افزار Arc Map به ساختار رستری (Raster) و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تبدیل گردید. سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و کاربرد دو برنامه الحاقی Arc Hydro و HEC-GEOHMS اقدام به استخراج شبکه آبراهه‌ها شد. با توجه به وضعیت زهکش‌ها، وسعت زیاد حوزه آبخیز و به منظور افزایش دقت در مدل سازی، حوزه آبخیز مورد مطالعه به ۱۸ زیر حوزه تقسیم و در ادامه پارامترهای فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها محاسبه گردید. شکل ۲ شبکه آبراهه و زیر حوزه‌ها را نشان می‌دهد و جدول ۱ پارامترهای فیزیوگرافی هر زیرحوزه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه زیرحوزه‌ها و شبکه آبراهه‌های حوزه آبخیز ایدنک.

جدول ۲- مشخصات فیزیوگرافی زیرحوزه‌های آبخیز ایدنک

شماره زیرحوزه	مساحت (Km^2)	شیب متوسط حوزه (٪)	شیب (وزنی) آبراهه اصلی (٪)	طول آبراهه اصلی (Km)
۱	۱۴۴/۵۵	۳۷/۸۱	۳/۷۷	۲۷/۰۶۴
۲	۳۶۸/۵۳	۳۲/۴۸	۲/۰۲	۳۰/۸۶۲
۳	۱۶۵/۶۹	۲۴/۳۱	۳/۹۶	۲۲/۵۹۹
۴	۲۳۱/۴۱	۳۷/۶۳	۳/۳۸	۳۷/۹۱۹
۵	۳۵/۱۵	۲۷/۹۷	۷/۱۱	۹/۲۳
۶	۲۵۷/۱۸	۳۶/۱۵	۳/۷۴	۳۳/۳۳
۷	۱۳۸/۹۲	۳۹/۵۱	۴/۱۱	۳۰/۰۴
۸	۱۳۰/۸۴	۴۱/۸۹	۶/۷۱	۲۱/۶۸
۹	۳۴/۰۹۷	۴۵/۶۳	۳/۵۷	۱۰/۴۵۹
۱۰	۲۶۶/۹۵۲	۳۴/۳۴	۲/۸۲	۴۳/۵۱۸
۱۱	۲۵۹/۵۷	۳۴/۸۹	۳/۹۴	۳۵/۶۷۴
۱۲	۱۳۱/۰۲	۳۲/۰۲	۵/۳۳	۲۳/۶۰۸
۱۳	۱۴۶/۴۲	۲۱./۹۹	۵/۱۲	۳۵/۹۶۹
۱۴	۲۳/۸۹	۴۲/۵۲	۲/۳۱	۹/۳۶۷
۱۵	۱۸۵/۴۵	۳۸/۵۱	۴/۳۰	۳۵/۶۱۶
۱۶	۳۰/۸۷	۳۸/۰۸	۴/۶۵	۱۲/۱۶۳
۱۷	۱۹/۴۰	۳۱/۸۰	۱۲/۲۷	۶/۹۷۲
۱۸	۱۸۱/۹۳	۲۶/۹۳	۲/۴۰	۲۷/۸۲۱
کل	۲۷۵۱/۸۷	۳۶/۱۴	۱/۵۵	۱۰۸/۳۷۹

۲) برآورد اولیه پارامترهای مدل

یک مدل شامل روابطی است که رفتار اجزاء سیستم هیدرولوژیکی را شبیه سازی می‌کند و مدل HEC-HMS، یک مدل کامپیوتری جهت شبیه‌سازی سیستم هیدرولوژیکی است که توسط گروه مهندسین ارتش آمریکا عرضه شده است. این مدل حوزه آبخیز را به عنوان یک سیستم به هم پیوسته با مولفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد.

ساختار مدل شامل ۳ بخش اصلی می‌باشد که عبارتند الف) مدل حوزه، ب) مدل هواشناسی، ج) شاخص کنترل زمانی

الف) مدل حوزه: این بخش مدل HEC-HMS شامل عناصر و پارامترهای هیدرولوژیکی است و عبارتند از بخش عناصر حوزه مانند زیرحوزه‌ها، بازه‌های روندیابی، محل اتصال آبراهه، مخازن، چشمه، منبع و بخش تلفات که در این مدل روش‌های متعددی برای برآورد تلفات وجود دارد و در این تحقیق از مدل تلفات شماره

منحنی SCS-CN استفاده شده است. مقدار تلفات اولیه از روش SCS با توجه به روابط زیر بدست می‌آید (۱۸).

رابطه (۱) $$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

رابطه (۲) $$I_a = a S$$

رابطه (۳) $$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN}$$

که در آنها P_e ارتفاع بارش موثر (رواناب) به میلی‌متر، P ارتفاع بارندگی به میلی‌متر، S حداکثر پتانسیل ذخیره حوزه به میلی‌متر و a ضریبی است که در هر شرایط متفاوت است (بین ۰/۱ برای خاک‌های مرطوب تا ۰/۳ برای خاک های خشک (۱)) و نیاز به واسنجی کردن این ضریب در هر منطقه جهت دستیابی به نتایج مطلوب می‌باشد (۱۹). اما برای برآورد اولیه آن ۰/۲ در نظر گرفته شده است. CN یا شماره منحنی با استفاده از نقشه‌های موجود از جمله کاربری اراضی و پوشش گیاهی و جداول موجود در کتب هیدرولوژی برآورد اولیه می‌شود.

مدل HEC-HMS در بخش تبدیل بارش به رواناب مستقیم و انتقال آن در حوزه دارای گزینه‌های انتخابی متعدد است که بر پایه دو روش اساسی قرار گرفته‌اند ۱) روش آبنمود واحد ۲) روش موج سینماتیک. در این تحقیق از روش آبنمود واحد SCS استفاده شده است.

درون آبنمود واحد SCS یک آبنمود واحد بدون بعد می‌باشد. این آبنمود به صورت بی‌بعد با نسبت دبی به دبی اوج (U/U_p) در محور قائم و نسبت زمان به زمان اوج (T/T_p) در محور افقی و به نام آبنمود واحد بی‌بعد ارائه گردیده است. ارتباط بین دبی اوج و زمان رسیدن به اوج با استفاده از روابط زیر بدست می‌آیند.

رابطه (۴) $$U_p = 2.08 \frac{A}{T_p}$$

رابطه (۵) $$T_P = \frac{\Delta t}{2} + T_{lag}$$

در رابطه‌های فوق A مساحت حوزه برحسب کیلومتر مربع، T_{lag} زمان تاخیر حوزه برحسب ساعت که از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود (۱۸).

رابطه (۶) $$T_{lag} = \frac{L^{0.8} \times (S + 254)^{0.7}}{70057 \times y^{0.5}}$$

رابطه (۷) $$T_c = 1.67 T_{lag}$$

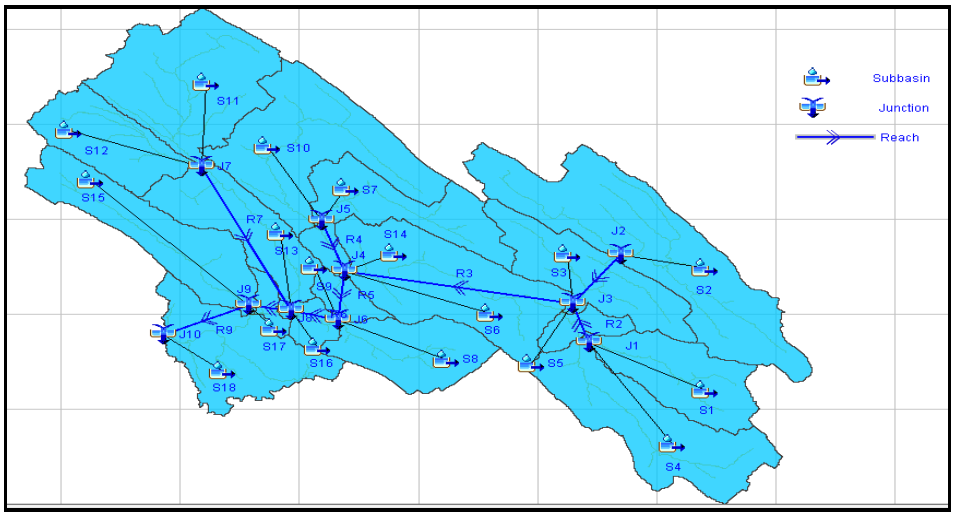
L: برابر است با طول آبراهه اصلی برحسب متر و S: حداکثر پتانسیل ذخیره حوزه برحسب میلی‌متر و y: شیب متوسط حوزه برحسب درصد و T_c: زمان تمرکز حوزه برحسب ساعت می‌باشد. در بخش روندیابی نیز روش‌های متعددی وجود دارد که در این تحقیق از روش ماسکینگام استفاده شده است. دو عامل مورد نیاز برای روند یابی با این روش شامل K و x می‌باشد. K بعد زمان داشته و معادل زمان انتقال موج سیل از ابتدا تا انتهای بازه روندیابی است. x یک ضریب بدون بعد بین صفر تا ۰/۵ بوده و مشخص کننده تاثیر نسبی دبی‌های ورودی و خروجی در میزان انبارش است.

ب) مدل هواشناسی: این بخش از مدل شامل مجموعه اطلاعات مورد نیاز برای تعیین بارش تاریخی یا طراحی است و با مدل حوزه در ارتباط است روش‌های محاسباتی بارش در این مدل متفاوت است که در این تحقیق از روش تعیین خصوصیات هیتوگراف بارش استفاده شده است.

ج) شاخص کنترل: در این بخش از مدل مشخصات زمانی وارد می شود که شامل تاریخ، زمان شروع و خاتمه بارش و همچنین گام زمانی انجام محاسبات می‌باشد.

۳) اجرای مدل برای حوزه مورد مطالعه

برای اجرای مدل ابتدا زیرحوزه‌ها، بازه‌ها و نحوه اتصال آنها به هم، مشخصات آنها شامل مساحت زیرحوزه‌ها، ضرایب روش‌های محاسبات تلفات (SCS)، پارامترهای روندیابی ماسکینگام (x و K) وارد مدل گردید و بعد از وارد کردن اطلاعات ورودی مدل اجرا شد. این مدل در نهایت شامل ۱۸ زیرحوزه، ۹ بازه و ۱۰ گره گردید. شکل ۳ نمایی از مدل حوزه در محیط گرافیکی مدل HEC-HMS می‌باشد.



شکل ۳- مدل ایجاد شده در HEC-HMS.

۴) واسنجی و اعتبارسنجی مدل

نتایج حاصل از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌های منابع آب و همچنین مسائل مربوط به سیل و امثال آن کاربرد فراوانی دارد بنابراین همواره درجه اعتبار و صحت آنها مورد سوال است و یا اینکه مشخص شود عملکرد مدل رضایت بخش است یا خیر، ضروری است. البته از هیچ مدل کامپیوتری نمی‌توان پیش‌بینی‌های کامل و دقیقی را انتظار داشت و همیشه بصورت نسبی مطرح است.

مدل‌هایی که جهت تعیین رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای پارامترهایی هستند که باید مقدار بهینه آنها تعیین گردند و این مرحله از مدل‌سازی به عنوان واسنجی مدل شناخته می‌شود.

عمل واسنجی زمانی میسر است که داده‌های مشاهده‌ای متناظر باران و جریان موجود باشد. در این مطالعه برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS از روش تقسیم نمونه‌ها[1] استفاده شد (۴). در این روش، سیلابهای مشاهده‌ای به دو گروه تقسیم می‌شوند. پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها و با استفاده از توابع هدف حداقل‌سازی خطا واسنجی می‌گردند. سپس اعتبارسنجی مدل از طریق اجرای مدل با پارامترهای بهینه شده برای گروه دوم داده‌ها انجام می‌شود و آبنمودهای شبیه‌سازی شده با یکدیگر مقایسه می‌شوند. بنابراین برای واسنجی پارامترهای مدل، ابتدا داده‌های مشاهده‌ای بارندگی از کلیه ایستگاه‌های بارانسنجی معمولی و ثبات در داخل حوزه و حوزه‌های اطراف و داده‌های سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه آبسنجی ایدنک استخراج شد. سپس یک تخمین اولیه از پارامترهایی که باید در واسنجی مدل مورد استفاده قرار می‌گرفتند در نظر گرفته شد. بعد از پایان مرحله شبیه‌سازی، آبنمود محاسبه شده با آبنمود مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. چنانچه برازش مناسب بود در نتیجه مقدار پارامتر بدست آمده از واسنجی مدل قابل قبول تشخیص داده می‌شود در غیراینصورت عملیات شبیه‌سازی برای دستیابی به نتایج بهتر از سر گرفته می‌شد. شایان ذکر است که تابع واسنجی حداقل سازی خطا، مجموع مربعات باقیمانده می‌باشد. در واسنجی مدل، پارامتر شماره منحنی به دلیل حساس بودن و متغیر بودن آن در شرایط رطوبتی مختلف و فصول مختلف و همچنین عدم اطمینان از دقت نقشه‌های موجود و پارامتر تلفات اولیه (I_a) در حوزه و پارامتر x، K روش روندیابی ماسکینگام جهت بهینه نمودن انتخاب شدند.

اولین گام برای اعتبارسنجی عملکرد مدل مقایسه چشمی است، که اغلب یک طرح گرافیکی از جریان‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است. برای اعتبارسنجی مدل از معیارهای آماری نیز استفاده می‌شود، که عبارتند از:

۱) درصد خطای اوج جریان (PEP)

اوین و پارکین (۵) پیشنهاد نمودند که نرخ‌های جریان ماکزیمم به وسیله درصدی از خطا در دبی اوج اعتبارسنجی شود.

رابطه (۸)
$$PEP = \frac{Q_{ps} - Q_{po}}{Q_{po}}$$

که در آن Q_{ps} دبی ماکزیمم شبیه سازی شده، Q_{po} دبی ماکزیمم مشاهده‌ای است.

۲) ضریب تبیین

ضریب تبیین یکی از شاخص‌های اعتبارسنجی می‌باشد که بوسیله ارزش ریشه ضریب همبستگی تعریف می‌شود و با R^2 نمایش می‌دهند، میزان R^2 بین صفر تا یک متغیر است

1- Simple- Split Sample Test

می‌دهند، میزان R^2 بین صفر تا یک متغیر است که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی بالاتر خواهد بود. برای R^2 برابر صفر هیچگونه همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی وجود ندارد و در R^2 برابر یک همبستگی کامل وجود دارد.

رابطه (۹)
$$R^2=\frac{\Sigma(Q_O-\overline{Q_O})(Q_S-\overline{Q_S})}{\sqrt{\Sigma(Q_O-\overline{Q_O})^2}\sqrt{\Sigma(Q_S-\overline{Q_S})^2}}$$

که در آن Q_0: دبی مشاهده‌ای، Q_s: دبی شبیه سازی، $\bar{Q}_0$: متوسط دبی مشاهده‌ای و $\bar{Q}_s$: متوسط دبی شبیه‌سازی می‌باشد.

۳) شاخص تاثیر

از دیگر شاخص‌های اعتبارسنجی شاخص تاثیر می‌باشد که به روش ناش شاتکلیف معروف است. این روش در سال ۱۹۷۰ ارائه شده است و به صورت زیر می‌باشد (۱۲).

رابطه (۱۰)
$$NSE=1-\frac{\sum(Q_O-Q_S)^2}{\sum(Q_O-\overline{Q}_O)^2}$$

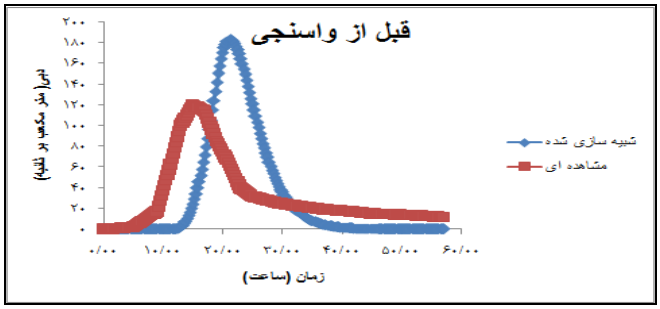
پارامترها با پارامترهای رابطه ۹ یکسان است

نتایج و بحث

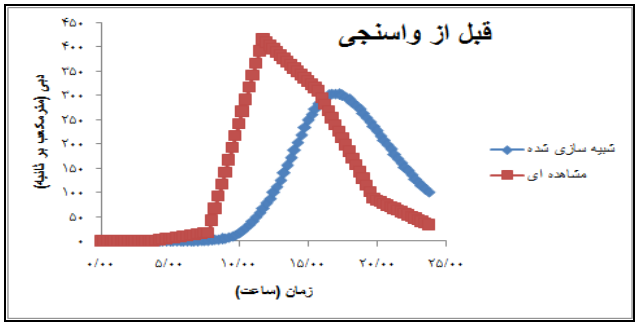
به دلیل تئوری آبنمود واحد مبنی بر تک قله‌ای بودن آبنمود سیلاب و همچنین همزمان بودن رویداد بارش و رویداد سیلاب، تعداد ۵ سیلاب که دارای یک قله و داده‌های همزمان بارش- رواناب و عدم مشارکت ذوب برف در روآناب می‌باشند انتخاب شد. جدول ۲ حاوی اطلاعات این سیلاب‌ها می‌باشد. سپس با توجه به روش تقسیم نمونه‌ها، تعداد ۴ رویداد برای واسنجی و رویداد دیگر نیز برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا آبنمودهای مربوط به ۴ رویداد واسنجی شبیه‌سازی شد. آبنمودهای مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با هم مقایسه گردیدند. نتایج نشان دهنده اختلاف بسیار زیاد بین آبنمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد. بنابراین نسبت به واسنجی پارامتر اقدام گردید. شکل ۴ آبنمودهای مشاهده‌ای و شبیه‌سازی قبل و بعد از واسنجی را نشان می‌دهد. جداول ۳، ۴ و ۵ و ۶ نتایج حاصل از واسنجی سیلاب‌ها می‌باشد. در جدول ۳ مشاهده می‌شود که اختلاف در دبی اوج کلیه سیلاب‌ها کمتر از ۱۰ در درصد می‌باشد اما در مورد حجم سیلاب فقط در یک رویداد اختلاف کمتر از ۱۰ درصد و در سه مورد دیگر بیشتر از ۱۰ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت در این حوزه مدل HEC-HMS، دبی اوج را بهتر از حجم سیلاب شبیه‌سازی می‌نماید. جداول ۴ و ۵ مقادیر بهینه پارامترهای حاصل از واسنجی را نشان می‌دهد. براساس مقایسه بین مقادیر شماره منحنی و تلفات اولیه قبل و بعد از واسنجی مدل فرض ۰/۲ برای ضریب نگهداشت سطحی جهت برآورد تلفات اولیه به دلیل نزدیک بودن نتایج قابل قبول می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات سیلاب‌های انتخابی

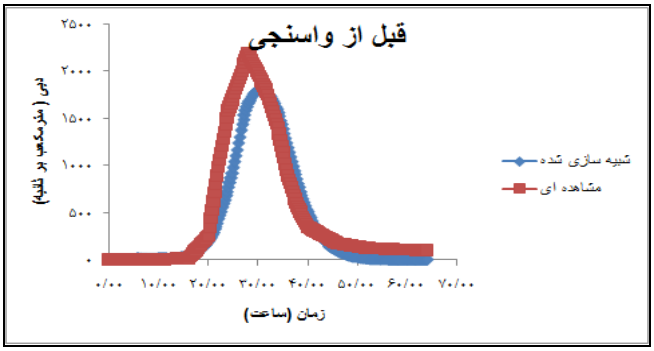
ردیف	تاریخ سیلاب	شرایط رطوبت پیشین خاک	دبی اوج سیلاب (m^3/s)	حجم روآناب (میلیون مترمکعب)	متوسط بارندگی حوزه (mm)
۱	۱۳۶۹/۱۰/۱۲	خشک	۱۲۰	۲/۴۱	۳۴/۱
۲	۱۳۷۶/۰۹/۲۳	متوسط	۴۱۸/۵	۴/۴۴	۳۹
۳	۱۳۷۳/۰۸/۲۵	خشک	۲۱۹۸	۴۱/۱	۸۲/۸
۴	۱۳۷۴/۱۱/۲۹	خشک	۲۰۰/۵	۳/۲۴	۲۹
۵	۱۳۷۸/۱۱/۲۵	خشک	۴۲۰	۶/۰۵	۳۹/۳



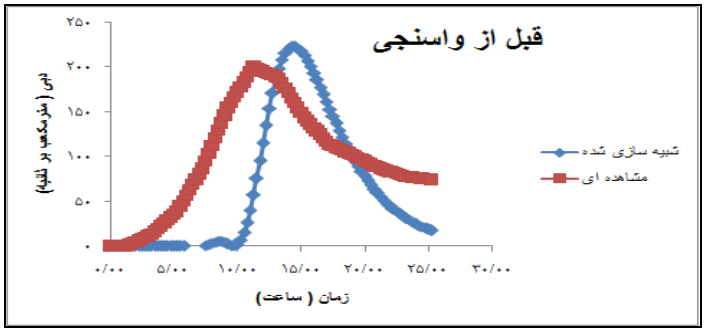
شکل (۴-۱۷) سیلاب مورخ ۱۳۶۹/۱۰/۱۲ قبل از واسنجی.



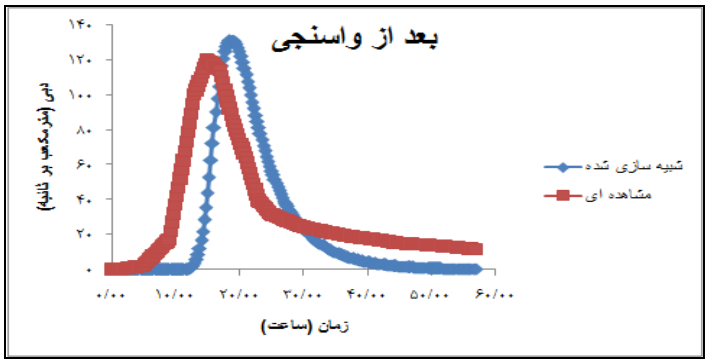
شکل (۴-۱۹) سیلاب مورخ ۱۳۷۶/۰۹/۲۳ قبل از واسنجی.



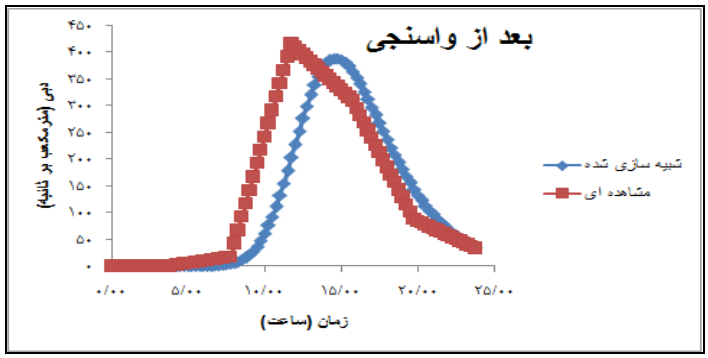
شکل (۴-۲۱) سیلاب مورخ ۱۳۷۳/۰۸/۲۵ قبل از واسنجی.



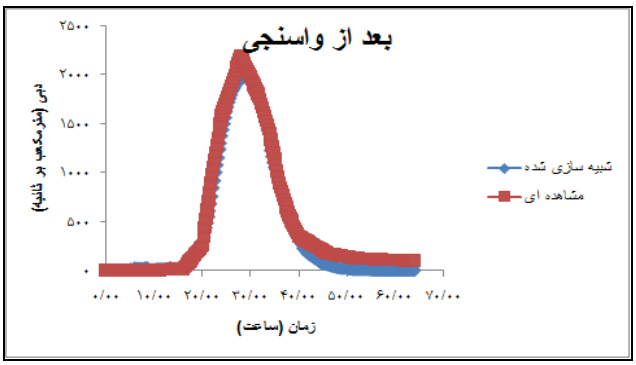
شکل (۴-۲۳) سیلاب مورخ ۱۳۷۴/۱۱/۲۹ قبل از واسنجی.



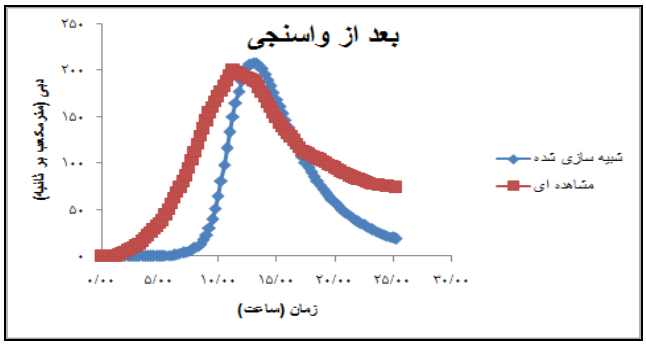
شکل (۴-۱۸) سیلاب مورخ ۱۳۶۹/۱۰/۱۲ بعد از واسنجی.



شکل (۴-۲۰) سیلاب مورخ ۱۳۷۶/۰۹/۲۳ بعد از واسنجی.



شکل (۴-۲۲) سیلاب مورخ ۱۳۷۳/۰۸/۲۵ بعد از واسنجی.



شکل (۴-۲۴) سیلاب مورخ ۱۳۷۴/۱۱/۲۹ بعد از واسنجی.

جدول ۳- تعیین درصد خطا در حجم و دبی پیک و اختلاف در زمان رسیدن دبی پیک آبنمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده

تاریخ وقوع سیلاب	درصد اختلاف در دبی اوج	درصد اختلاف در حجم رواناب	اختلاف در زمان رسیدن دبی اوج (ساعت)
۱۳۶۹/۱۰/۱۲	۴/۵	-۲۹/۴۲	۳/۵
۱۳۷۶/۰۹/۲۳	-۴	-۶/۲۲	۲/۵
۱۳۷۳/۰۸/۲۵	۹/۱	-۱۲/۹۶	۱
۱۳۷۴/۱۱/۲۹	۲/۴	-۳۵/۱۹	۲

جدول ۴- پارامترهای بهینه شده حاصل از واسنجی پارامترهای بهینه مدل برای زیرحوزه‌های آبخیز

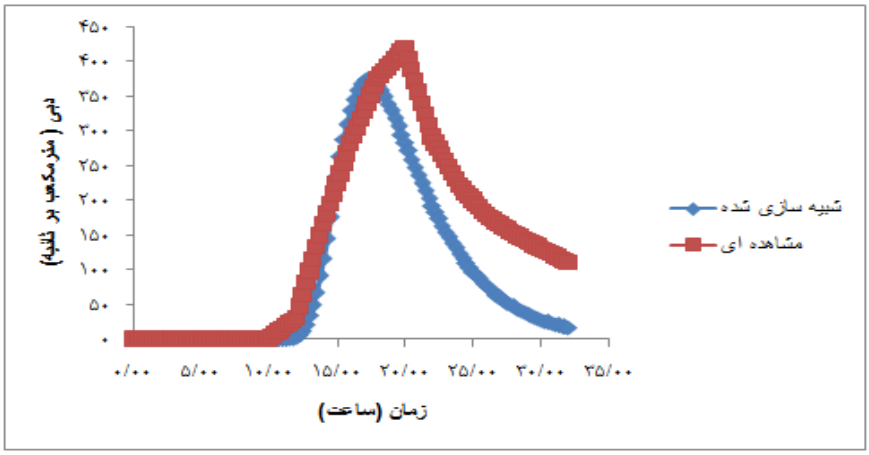
شماره زیرحوزه	شماره منحنی قبل از واسنجی	شماره منحنی بعد از واسنجی	تلفات اولیه (mm) قبل از واسنجی	تلفات اولیه (mm) بعد از واسنجی	زمان تاخیر (دقیقه) قبل از واسنجی	زمان تاخیر (دقیقه) بعد از واسنجی	زمان تمرکز (دقیقه) بعد از واسنجی
۱	۷۹/۸۰	۷۸/۲۶	۱۴/۴	۱۵	۱۱۳/۱۴	۱۱۸/۶۱	۱۹۸/۰۸
۲	۷۷/۰۷	۷۳/۶۵	۱۳/۹۷	۱۹/۵	۱۴۷/۳۲	۱۶۲/۶۱	۲۷۱/۵۶
۳	۷۷/۷۸	۷۶/۰۲	۱۴/۹۴	۱۵	۱۲۶/۰۸	۱۳۶/۸۷	۲۲۸/۵۶
۴	۷۳/۴۷	۷۲/۴۱	۱۸/۲۴	۲۰/۸	۱۷۹/۰۴	۱۸۴/۴۲	۳۰۷/۹۹
۵	۷۹/۱۰	۷۰/۷۶	۱۹/۳۵	۱۹/۵	۶۷/۷۴	۷۲/۲۷	۱۲۰/۶۹
۶	۷۱/۳۹	۷۰/۳۳	۲۰/۳۶	۲۲	۱۷۴/۵۵	۱۷۹/۶۴	۳۰۰
۷	۶۸/۷۰	۷۰/۴۳	۲۲/۳۶	۲۱/۳۷	۱۶۵/۲۱	۱۵۷/۷۰	۲۶۳/۳۷
۸	۶۹/۳۰	۷۰/۶۳	۱۹/۰۰	۲۱/۱	۱۲۱/۶۵	۱۱۷/۳۵	۱۹۵/۹۷
۹	۶۷/۶۷	۶۷/۳۸	۲۴/۵۵	۲۵/۵	۶۷/۹۵	۶۸/۴۶	۱۱۴/۳۲
۱۰	۷۶/۳۶	۷۳/۸۶	۱۷/۹۴	۱۷/۲	۱۹۲/۵۵	۲۰۶/۹۱	۳۴۵/۵۵
۱۱	۷۸/۰۵	۷۵/۶۱	۱۱/۶۵	۱۶/۲	۱۵۴/۹۹	۱۶۶/۵۶	۲۷۸/۱۶
۱۲	۷۶/۹۲	۷۴/۳۷	۱۵/۸۷	۱۶/۶	۱۲۰/۲۷	۱۲۹/۵۱	۲۱۶/۲۸
۱۳	۷۳/۵۶	۷۳/۴۳	۱۶/۶۰	۱۸/۸	۲۲۳/۹۵	۲۲۴/۷۷	۳۷۵/۳۷
۱۴	۶۹/۹۶	۶۹/۶۸	۲۱/۵۴	۲۱/۵	۶۰/۹۴	۶۱/۰۷	۱۰۱/۹۹
۱۵	۶۸/۱۹	۷۰/۵۱	۱۹/۹۷	۲۰/۶	۱۹۴/۳۸	۱۸۲/۶۶	۳۰۵/۰۴
۱۶	۷۰/۴۹	۷۲/۷۰	۲۰/۳۶	۲۱/۳	۷۷/۸۰	۷۳/۲۱	۱۲۲/۲۶
۱۷	۷۰/۳۶	۷۱/۸۰	۲۰/۰۴	۱۹/۲	۵۴/۷۴	۵۲/۶۲	۸۷/۸۸
۱۸	۷۴/۳۷	۷۶/۱۶	۱۵/۵۷	۱۴/۶	۱۶۱/۰۲	۱۵۲/۹۲	۲۵۵/۳۷
کل		۷۲/۶۷		۱۹/۱		۴۳۲/۸۲	۷۲۲/۸۱

جدول ۵- پارامترهای بهینه مدل برای بازه‌های روندیابی

شماره بازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
K (ساعت) قبل از واسنجی	۱/۵	۰/۴	۴/۴	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۵	۰/۲	۲/۵
K (ساعت) بعد از واسنجی	۱/۷۵	۱/۳۹	۴/۵۳	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۱۵	۵/۵۳	۰/۰۹	۱/۵۴
x قبل از واسنجی	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
x بعد از واسنجی	۰/۳	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۰۸

حال پاسخ به این سوال مهم است که پارامترهای برآورد شده حاصل از عملیات واسنجی صحیح عمل می‌کنند یا خیر؟ برای پاسخ به این سوال رویداد سیلابی

مورخ ۱۳۷۸/۱۱/۲۵ با شرایط رطوبت پیشین مشابه سیلاب‌های مربوط به دوره واسنجی و با دبی اوج ۴۲۰ مترمکعب بر ثانیه انتخاب و با پارامترهای بهینه شده شبیه‌سازی گردید و نتایج در جدول ۶ و شکل ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که کلیه شاخص‌ها مناسب بودن مدل را تایید می‌کنند. ضریب همبستگی این مدل را ۰/۸۲ و شاخص درصد خطای دبی اوج در حدود ۱۰ درصد می‌باشد و نشان دهنده مناسب بودن مدل می‌باشد. اما در مورد حجم رواناب نتایج مناسب نیست، زیرا اختلاف حجم رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بیش از ۳۱ درصد می‌باشد.



شکل ۵- آبنمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای اعتبارسنجی مدل در تاریخ ۱۳۷۸/۱۱/۲۵.

جدول۶- نتایج حاصل از عملیات اعتبارسنجی

شاخص اعتبارسنجی	PEP	EC	R^2
	-۱۰/۷۱	۰/۴۶ رضایت بخش	۰/۸۲

محور تحقیق این پژوهش واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی آبنمود سیلاب‌های حوزه آبخیز ایدنک است. با بهره‌گیری از مدل HEC-HMS می‌توان رویداد بارش و تبدیل آن به روآناب را در ترکیب فرآیندهای مختلف بررسی نمود و پاسخ هیدرولوژی حوزه را بدست آورد. اما نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مدل بدون واسنجی و تکیه بر برآورد پارامترهای مدل با استفاده از روابط تجربی باعث ایجاد خطای زیاد در برآورد سیلاب شده و ضرورت واسنجی مدل را نشان می‌دهد. این مدل بعد از عملیات واسنجی و اعتبارسنجی به ویژه در خصوص پیش‌بینی دبی اوج سیلاب می‌تواند نتایج قابل قبولی ارئه دهد.

به طوری که در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی اختلاف دبی پیک آبنمود مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده همواره کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. نتایج در مورد صحت برآورد حجم سیلاب در بعضی موارد قابل قبول و در بعضی موارد غیر قابل قبول می‌باشد و در نهایت نتایج اعتبارسنجی مدل در ارتباط با حجم رواناب مورد پذیرش نمی‌باشد.

منابع

1. Alizadeh, A. 2007. Principles of Applied Hydrology, Emam Reza University, 19th Ed., 745 pp.
2. ASCE. 1993. Criteria for evaluation of watershed Models, Journal of Irrigation Drainage Engineering, 119(3): 425-449.
3. Boughton, W. 2006. Calibrations of a daily rainfall- runoff model with poor quality data, Environmental Modeling and Software, 21: 1114-1128.
4. Croke, B.F.W, F. Andrews, A.J. Gazkman, S.M. Cuddy and A. Luddy. 2006. IHACRESA Classic Plus: A Redesign of the IHACRES rainfall-runoff model, Environment Modeling and Software, 21: 426- 427.
5. Ewen, J. and G. Parkin. 1996. Validation of Catchment Models for Prediction Land Use and Climate Change Impacts: 1. Method, Journal of Hydrology, 175: 583-564.
6. Jandaghi, N. and M. Baghati. 2007. Changes in land use on flood regime of the small watershed (Case study: watershed Tghrtphe Gorgan, Proceedings of the 7th Int. River Engineering Conference, Ahvaz, 301 pp.
7. Khosrowshahi, M. and B. Saghafian. 2003. Contribution of Subwatershed in outlet flood production of watersheds, Journal of Pajouhesh and Sazandegi, 59: 67-75.
8. Loague, K.M. and R.A. Freeze. 1985. A Comparison of Rain fall- Runoff Modeling Techniques on Small Upland Catchments. Water Resources Research, 21(2): 229-248.
9. Mahmoudian Shushtari, M., M.R. Tabatabai Majdzadeh and A. Yoosefi. 2003. Study and application of HEC-HMS model in River Engineering (Case study: River kor and Sivand in the fars Province), Proceedings of the 6th Int. River Engineering Conference. Ahvaz, pp: 1061-1068.
10. Mirmehdi, M. and I. Jahangir. 2008. HEC-HMS model calibration and evaluation of these models as if in response to the flood catchment Maroon. 4th National Congress of Civil Engineering, Tehran.
11. Morid, S., H. Ghaemi and H. Mirabvalqasmy. 1997. HEC-1 model to assess the similarity of rainfall-runoff in the Hormozgan Province, 1st conference hydraulics iran, pp: 333-334.
12. Nash, J.E. and J.V. Sutcliff. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Journal of Hydrology, 10: 282-290.
13. Radmanesh, F., J. Porhemat, A. Behnia and A.M. Akhond_Ali. 2007. HEC-HMS model calibration and evaluation of the Yellow River catchment, Proceedings of the 7th Int. River Engineering Conference, Ahvaz, 358 pp.

14. Rezvani, A. 1998. Review flood damages Seventy years in the country, Workshop of flood warning systems and flood management, Tarbiat Modares University.
15. Saghafian, B., H. farazjou, A. Sepehri and A. Najafinejad. 2007. Effects of land use changes on floods in Golestan dam catchment, Journal of Iran Water Resources Research, 2(1): 18- 28.
16. Saghafian, B. and H. Farazjou. 2007. Determined priority areas and causing floods in Golestan dam watershed subbasins, Journal of Iran Watershed Science and Engineering, 1(1): 1-11.
17. Seyyed Kaboli, H. and A.M. Akhond_Ali. 2009. Evaluation of Loss Methods to Simulate flood events (Case study: Kasilian Basin), Journal of Water and Soil, 23(3): 98-109.
18. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service (USDA, SCS). 1972. Hydrology, National Engineering Handbook, Section 4.
19. Yazdani, M.R. 2000. Estimate of the maximum flow in a small watershed using SCS graphical, M.Sc. thesis, Faculty of Natural resources, Tarbiat Modares University, 91 pp.
20. Young, P.C. and H. Garnier. 2006. Identification and estimation of continuous time data- based mechanistic (DBM) models for environmental systems. Environmental Modeling and Software, 21: 1055-1077.

Watershed Flood Hydrograph Estimation Using HEC-HMS and Geographic Information System (Case Study: Idanak Watershed)

S. Shokri[1], A.A. Behnia[2], F. Radmanesh[3] and A.M. Akhond Ali[2]

1- M.Sc., University of Shaheed Chamran (Corresponding author: saeed.shokri88@yahoo.com)
2 and 3- Professor and Assistant Professor, University of Shaheed Chamran

Abstract

Among the variety of methods used for estimating runoff in the watershed, the SCS method has universal applicability, so the main aim of this study is the calibration of SCS method and the creation of flood hydrograph. The HEC-HMS hydrologic (rainfall-runoff) model has been used for Idanak watershed flood estimation. Using the residual sum of squared minimization function", calibration process was completed and the results were evaluated at the end. The results indicate that models with no use of calibration would not be trustful. Relying on model parameters (CN, I_a) estimation using experimental relationships causes poor match between observed and simulated runoff and proves the necessity of calibration. In the models calibration and validation the difference of peak flows between hydrograph and simulated hydrograph is always less than 10 percent and coefficient of determination between the two is 0.82. the calibration model results show the efficiency of the model in estimation of runoff and flood peak flow. The validation results associated with the volume of runoff is not acceptable, because the difference between observed and simulated runoff volume is more than 31 percent.

Keywords: Flood, Calibration and validation, HEC-HMS model, Idanak watershed