

مدل‌سازی سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک با بهره‌گیری از مدل HEC-HMS مطالعه موردی (حوضه آبریز سد استقلال میناب)

معصومه اسدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
ایرج جباری* - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه.
همایون حصادی - استادیار مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۲۸

چکیده

مناطق خشک به لحاظ بارش‌های رگباری یکی از آسیب‌پذیرترین بخش‌های جهان از نظر وقوع سیلاب می‌باشند، که ویژگی‌های رگباری بارش پیش‌بینی سیلاب را در این مناطق دشوار می‌سازد. این پدیده در مناطق خشک و نیمه خشک ایران که داده‌های باران و رواناب ناقص می‌باشند شرایط پیش‌بینی را دشوارتر می‌گرداند. در این تحقیق حوضه آبریز سد میناب به عنوان نمونه‌ای از این مناطق، به دلیل دارا بودن داده‌ها، جهت شبیه‌سازی بارش - رواناب با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS انتخاب شده است. در فرآیند محاسبات مدل جهت محاسبه تلفات رواناب حوضه از روش SCS، جهت تبدیل فرآیند بارش مازاد به جریان سطحی از روش هیدروگراف واحد SCS، کلارک و اشنایدر و از مدل ثابت ماهانه برای محاسبه جریان پایه بهره گرفته شد. پارامترهای مدل بر اساس پنج هیدروگراف مشاهده‌ای مورد واسنجی و بر اساس دو هیدروگراف مشاهده‌ای دیگر اعتبارسنجی شد، که منجر به تنظیم پارامترهای حوضه آبریز گردید. تحلیل حساسیت مدل، نسبت به پارامترهای مختلف روش SCS نیز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به درصد اختلاف کمتر بین دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی روش هیدروگراف واحد SCS به عنوان روش مناسب برای حوضه مورد مطالعه تعیین شد. مقادیر RMSE برای هر سه مدل SCS، کلارک و اشنایدر به ترتیب برابر با ۰/۳۵۳، ۱۱۷/۷۵ و ۷۹/۶۲۰ می‌باشد. همچنین تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف نشان داد که تاثیرگذارترین عامل بر مدل به ترتیب CN با مقدار ۱/۵۹۱، تلفات اولیه با مقدار حساسیت ۱/۳۳۵ و زمان تاخیر با مقدار ۰/۸۱۳ می‌باشند.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی، HEC-HMS، سد استقلال میناب.

مقدمه

وقوع سیلاب‌های ناگهانی از ویژگی‌های اصلی مناطق خشک می‌باشد. کشور ایران نیز به‌خاطر واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک جهان از این قاعده مستثنی نیست به طوری که طی ۵۰ سال (۱۳۸۰-۱۳۳۰) تعداد ۳۷۰۰ مورد سیل حادثه‌خیز در آن به ثبت رسیده است (محمودیان و همکاران، ۱۳۸۱). این شرایط در مناطقی مانند استان هرمزگان قدری بحرانی‌تر است. برای مثال بر اثر بارندگی ۲۰ اسفند ۱۳۹۴ در یک روز ۱۱۰ میلی‌متر بارندگی در شهرستان میناب ثبت شده و دو هزار میلیارد ریال خسارت وارد کرده است (خبرگزاری فارس ۱۳۹۴).

با توجه به اهمیت پیش‌بینی سیلاب در مطالعه و طراحی‌های هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آبی و اینکه پیش‌بینی سیلاب مستلزم نصب، راه‌اندازی و نگهداری از تجهیزات و سامانه ثبت سیلاب می‌باشد و بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور فاقد چنین امکاناتی هستند، استفاده از روش یا روش‌هایی که بتوان به کمک آن‌ها، میزان رواناب حاصل از بارندگی را در حوضه‌های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص تخمین زد، از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. به علاوه با توجه به رشد جمعیت و توسعه اجتماعی و اقتصادی و تغییرات آب و هوایی به علت تأثیر گرمایش جهانی، که سبب افزایش خسارات ناشی از سیل می‌گردد این امر اهمیت بیشتری می‌یابد. تا کنون مدل‌های زیادی جهت شبیه‌سازی بارش رواناب برای پیش‌بینی سیل مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. توسعه این مدل‌ها منجر به تولید مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با استفاده از مدل‌های کامپیوتری شده است. از جمله مدل‌های موفق در این زمینه، نرم‌افزار HEC-HMS است که بسیاری از محققین با بهره‌گیری از آن به پیش‌بینی سیلاب پرداخته‌اند. این مدل ابتدا در سال ۱۹۶۷ با عنوان مدل HEC-1 توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی موسسه تحقیقات آب هنگ مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا انتشار یافت و در سال ۱۹۹۴ جایگزین مدل HEC-1 شد.

استفاده از این مدل به دلیل قابلیت‌های زیادی که دارا می‌باشد توسط محققین زیادی جهت شبیه‌سازی بارش- رواناب استفاده شده است. کنول و همکاران (۲۰۰۳)، کافله و همکارانش (۲۰۰۷)، گارسیا و همکارانش (۲۰۰۸)، سمپات و همکاران (۲۰۱۵) و رومالی (۲۰۱۸) به ترتیب برای جنوب شرق ایالت داکوتای جنوبی، حوضه بگماتی، شمال اسپانیا، سریلانکا و سگامات مالزی با استفاده از این مدل به نتایج قابل قبولی دست یافتند. همچنین امکول و آگت (۲۰۰۶) و رازی و همکارانش (۲۰۱۰) در حوضه آبخیز کیتاتیس در واشنگتن و حوضه رودخانه جوهور مالزی با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS به این نتیجه رسیدند که مدل SCS توانایی کافی در اهداف مطالعه آن‌ها را داشته است. مطالعات بهادری خسروشاهی (۱۳۷۰)، خلیقی و همکاران (۱۳۸۳)، کریمی و همکارانش (۱۳۹۰)، شکری کوچک و همکارانش (۱۳۹۰)، پور حسین قادری و همکاران (۱۳۹۲)، حسینی و همکاران (۱۳۹۴)، مزیدی و کوشکی (۱۳۹۴)، حصادی و همکاران (۱۳۹۵)، حسین زاده و ایمنی (۱۳۹۵)، رحیم‌زاده و حبیبی (۱۳۹۷) در حوضه‌های آبخیز رودخانه جاجرود، باراندوزچای استان آذربایجان غربی، ليقوان، ایدنک، نازلو چای ارومیه، کشکان، خرم آباد، ناودار کرمانشاه، قوچک - رودک، روانسر نیز به این نتیجه رسیدند که روش SCS نسبت به روش‌های دیگر مدل نتایج قابل قبول‌تری داشته‌اند. مطالعات دیگری در مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از HEC-HMS صورت گرفته است که می‌توان از آن جمله به کارهای آزاگرا (۱۹۹۸) در حوضه رودخانه گوادالوپ، میلینگ (۲۰۱۶) در شمال غربی چین، نورهان و همکاران (۲۰۱۶) در وادی القیق مدینه، عربستان سعودی، درودر (۲۰۱۷) در منطقه نیمه خشک سفرا الجزیره، لاواچریا (۲۰۱۵) در شمال شرق الجزیره، و یمانی (۲۰۱۶) در منطقه خشک غاردایا الجزایر، راد منش و همکاران (۱۳۸۵) در حوضه آبخیز رود زرد و میرمهدی و جهانگیر (۱۳۸۷) در حوضه آبریز مارون اشاره کرد. آنها نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که روش SCS بهترین نتیجه را برای هدف آن‌ها در بر داشته است.

به طور کلی با بررسی پیشینه مطالعات قبلی می‌توان دریافت که مدل‌های مصنوعی پیش‌بینی سیلاب در مناطق خشک کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند (وِدِر، ۲۰۰۸). در صورتی که مناطق خشک با ویژگی‌های خاص خود چون بی‌نظمی بارش

و جریانات سطحی، نوسانات شدید هیدرولوژیکی و داده‌های محدود و پراکنده، سیلاب‌های غیر قابل پیش‌بینی‌تری را تجربه می‌کنند که با شدت و خسارات زیادی همراه می‌باشد. لذا جهت پیش‌بینی و ایجاد راهبردهای مدیریتی در کنترل سیلاب، به کارگیری مدل‌های پیش‌بینی سیلاب که به داده‌های هیدرومتری کمتری نیاز داشته باشد ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به تغییرپذیری شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی در مناطق مختلف کشور مدل‌های مذکور در حوضه‌های آبخیز با خصوصیات اقلیمی، لیتولوژی و ژئومورفولوژیک متفاوت، پاسخ‌های متفاوتی بدنال دارد. این امر ما را بر آن داشت تا در این پژوهش از مدل HEC-HMS و سه روش هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، اشنایدر و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک واقع در آن جهت پیش‌بینی بارش - رواناب در حوضه آبریز سد استقلال میناب به دلیل دارا بودن داده‌های مورد نیاز به عنوان یک حوضه منطقه خشک و نیمه‌خشک، بهره گرفته شود تا مشخص شود که کدام یک از روش‌های فوق‌الذکر برای این مناطق جهت پیش‌بینی با واقعیت انطباق بیشتری دارد. انتخاب نوع مدل شبیه‌سازی بارش - رواناب به لحاظ دقت، بستگی به حوضه مورد مطالعه و اهداف پیش‌بینی هیدرولوژیکی آن دارد. از آنجا که در مناطق خشک ایران عموماً داده‌های مربوط به بارش و رواناب محدود است به نظر می‌رسد استفاده از روشی که متناسب با این شرایط باشد منطقی است. بر این اساس در این تحقیق مدل HEC-HMS بصورت متمرکز انتخاب شده است. زیرا هم مدل HEC-HMS دارای تنوع گزینه‌های مختلف تولید هیدروگراف خروجی می‌باشد و قابلیت اتصال به Arc-GIS را دارا است و هم اینکه داده‌های موجود در سطح حوضه در حدی نیست که بتوان از آن جهت مدل‌سازی توزیعی و یا نیمه توزیعی استفاده کرد.

منطقه مورد مطالعه

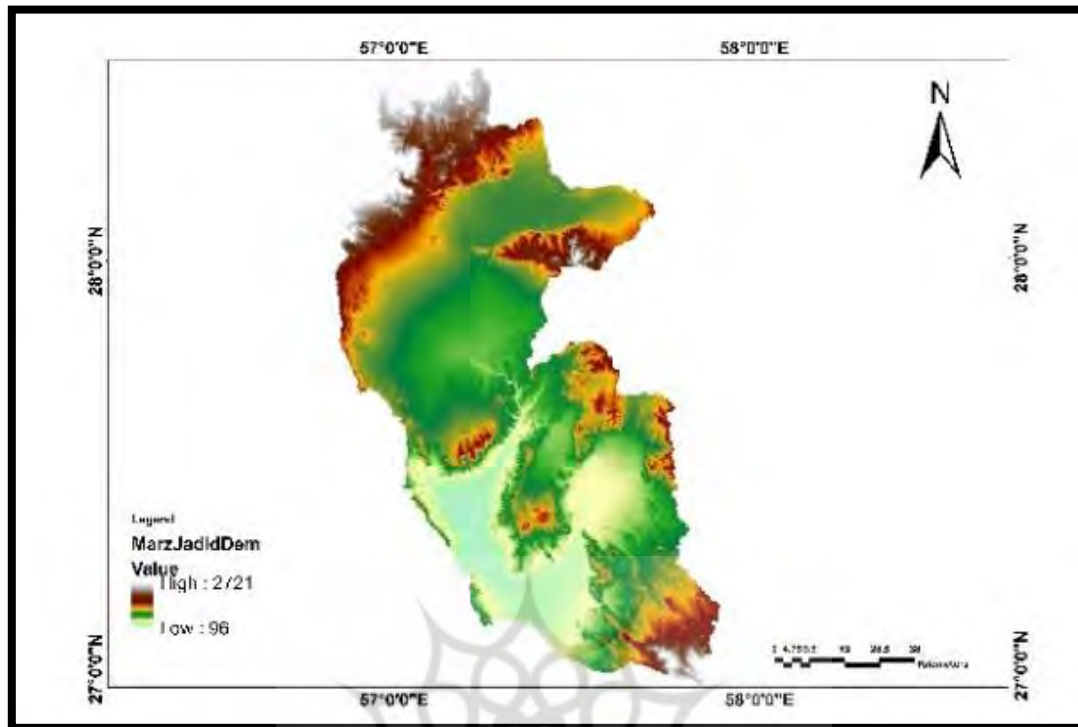
حوضه آبریز سد میناب در محدوده جغرافیایی ۲۶ ۵۷ ۲۰ تا ۲۸ ۳۰ ۴۵ عرض شمالی و ۴۴ ۴۹ ۵۶ تا ۱۷ ۴۳ ۵۷ طول شرقی، در جنوب غربی استان کرمان و شمال شرقی استان هرمزگان واقع شده است و با وسعت ۹۷۶۶ کیلومتر مربع از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین حوضه‌های آبریز سواحل جنوبی ایران است (شکل ۱). اقلیم این حوضه گرم و خشک و دارای رژیم بارندگی مدیترانه‌ای با میانگین سالانه ۲۳۰ میلی‌متر است. متوسط تبخیر از تشتک تبخیر ۲۲۴۸/۱ میلی‌متر اندازه گیری شده است. اختلاف ارتفاع در سطح حوضه برابر ۲۶۲۵ متر می‌باشد و اراضی کوهستانی بیشتر در بخش‌های شمالی، شمال شرقی و غربی و شرق و بخش‌هایی از جنوب حوضه قرار دارد. وسعت دشت‌ها حدود یک سوم کل حوضه یعنی ۳۵۰۶ کیلومتر مربع دشت‌های حوضه به صورت ناپیوسته و پراکنده است. محدوده مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ساختمانی در سه زون سنندج سیرجان، زاگرس مرتفع و مکران واقع شده است. سه رودخانه رودان، جغین و رودخانه میناب در سطح حوضه جاری می‌باشند که رودخانه میناب از اتصال دو رودخانه رودان و جغین به وجود می‌آید. شرایط ویژه منطقه تحت مطالعه به لحاظ محدودیت‌های اقلیمی، خشکی دائمی و خشکسالی‌های مکرر و وجود منابع آبی مطلوب منشاء گرفته از نواحی کوهستانی بالادست حوضه آبخیز که هر ساله بصورت سیلاب در بارش‌های فصلی و رگبارهای بسیار تند از دسترس خارج می‌شود، اهمیت توجه خاص به مهار رواناب‌های سطحی در آن را الزامی می‌کند.



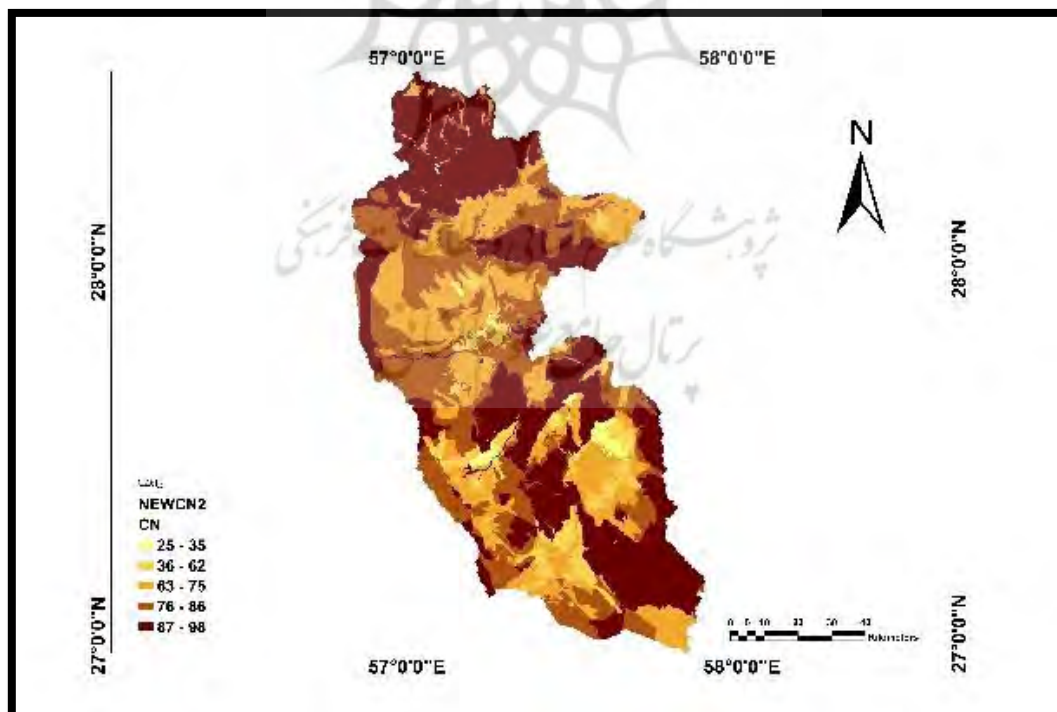
شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

داده‌ها و روش تحقیق

در این تحقیق برای شبیه‌سازی و بررسی رابطه بارش - رواناب در حوضه سد میناب از مدل HEC-HMS استفاده شده است. این روش بر مبنای پردازش اطلاعات هواشناسی و فیزیکی با استفاده از تکنیک‌های GIS است. برخی از پارامترهای فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی مورد نیاز شبیه‌سازی سیلاب حوضه بعنوان ورودی‌های مدل HEC-HMS، به کمک لایه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر (شکل ۲) و نقشه CN (شکل ۳) حوضه، در محیط نرم‌افزاری ArcGIS10.2 با استفاده از الحاقیه HEC-Geo-HMS10.2 استخراج و محاسبه گردید (جدول ۱). نقشه CN خود با استفاده از نقشه کاربری ارضی، پوشش گیاهی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، با میانگین وزنی ۷۹/۹۱ برای کل حوضه بدست آمد. آمار و اطلاعات مربوط به بارش و دبی سیلاب حوضه نیز با توجه به محدودیت وجود ایستگاه‌های هیدرومتری از ایستگاه‌های هواشناسی میناب و هیدرومتری برنطین در خروجی حوضه گردآوری شد.



شکل ۲. نقشه مدل ارتفاعی رقومی حوضه سد استقلال میناب



شکل ۳. نقشه شماره منحنی حوضه سد استقلال میناب

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی حوضه

طول آبراهه اصلی (km)	میانگین CN	توان تلفات IA	بیشترین ارتفاع (متر)	کمترین ارتفاع (متر)	شیب متوسط حوضه (درصد)	زمان تاخیر (ساعت)	زمان تمرکز (ساعت)
۲۰۷	۷۹/۹۱	۱۲/۷	۲۷۲۱	۹۶	۱۳/۱۸	۱۶/۲۹	۲۷/۲۲

جهت شبیه‌سازی رواناب ابتدا پارامترهای مورد نیاز ورودی از جمله شماره منحنی، تلفات اولیه، زمان تاخیر استاندارد و ضریب اوج اشنایدر، زمان تمرکز و ضریب ذخیره کلارک و سایر پارامترها آماده شد. همچنین از اطلاعات حوضه آبخیز، بارندگی، سیلاب و تجزیه و تحلیل آنها استفاده شده است. سپس با بررسی هیدروگراف‌ها و هیتوگراف‌های مولد آن از لحاظ داشتن شاخه صعودی و نزولی و طول مدت بارش و همزمانی وقوع بارش و سیلاب رخ داده شده، هیدروگراف‌های مناسب انتخاب شدند. از آنجا که انتخاب بارشی که در حوضه مورد نظر دارای توزیع مناسبی باشد و سطح حوضه را به طور کامل پوشش دهد بسیار مهم است، پس از بررسی یک دوره بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر فراگیر بودن، انتخاب و داده‌های مربوط به آن برای ۵ واقعه استخراج شد. داده‌های سیلاب‌های مناسب جهت شبیه‌سازی به مدل HEC-HMS وارد شدند و مدل اولیه بر اساس آن تهیه شد.

سه روش مورد مطالعه در این تحقیق با ورود مقادیر لازم در بخش تلفات و در بخش رواناب و آب پایه اجرا شد. در بخش رواناب سه روش SCS، کلارک و اشنایدر مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. در بخش تلفات در هر سه روش ذکر شده از روش SCS استفاده شد. پارامترهای مورد نیاز هر یک از این روش‌ها و مقادیر بدست آمده آن‌ها شامل میزان CN و تلفات اولیه که در هر سه روش مشترک است و زمان تاخیر در روش SCS، ضریب ذخیره و زمان تمرکز برای روش کلارک و زمان تاخیر استاندارد و ضریب اوج برای روش اشنایدر در حوضه مورد مطالعه محاسبه و در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). هیدروگراف واحد SCS، بی بعد و تک اوجی می‌باشد و نسبت بین دبی‌های هیدروگراف واحد در هر زمان و دبی هیدروگراف واحد در زمان رسیدن به اوج را نشان می‌دهد. کلارک، هیدروگراف واحد یک حوضه آبخیز را به صورت صریح با دو فرایند اصلی در تبدیل بارش مازاد به رواناب شامل انتقال یا حرکت بارش اضافی از نقطه اصلی تا نقطه خروجی حوضه آبخیز و میرایی یا کاهش مقدار دبی به منزله ذخیره مازاد در سراسر حوضه آبخیز معرفی می‌کند. اشنایدر زمان تاخیر، دبی اوج و زمان پایه هیدروگراف را به عنوان مشخصات اصلی یک هیدروگراف واحد معرفی کرد.

جدول ۲. پارامترهای لازم در روش‌های مختلف محاسبه رواناب

نام روش	پارامترهای لازم	نتایج محاسبات
کلارک	زمان تمرکز (ساعت)	۲۷/۲۲
	ضریب ذخیره (ساعت)	۰/۳۷
اشنایدر	زمان تاخیر استاندارد (ساعت) (TP)	۲۰/۵۸
	ضریب اوج (Cp)	۰/۷۵
SCS	زمان تاخیر (ساعت)	۱۶/۲۹

پس از شبیه‌سازی اولیه جهت تعیین مقدار بهینه این پارامترها، عملیات واسنجی مدل برای پنج رویداد بارش - رواناب انجام گرفت. طی فرایند واسنجی مدل با تابع هدف درصد خطای دبی اوج و روش جستجوی نلدر و مید، تصحیح مکرر پارامترها و محاسبه بهترین برازش بین هیدروگراف محاسبه شده و مشاهده شده انجام گرفت. با مناسب بودن برازش و تولید

نزدیکترین هیدروگراف به هیدروگراف مشاهده شده، مقدار پارامتر به دست آمده از واسنجی مدل قابل قبول تشخیص داده شد.

اعتبارسنجی مدل بر اساس دو واقعه بارش-رواناب منتخب که در واسنجی دخالت داده نشده بودند، انجام شد. در قسمت اعتبارسنجی با یک پارامترهای جدید، مستقل از پارامترهای استفاده شده در مرحله واسنجی، شبیه‌سازی جریان انجام می‌شود. پارامترهای جدید حاصل میانگین عددی پارامترهای واسنجی شده است. میزان نزدیکی جریان محاسباتی به جریان مشاهداتی حاکی از معتبر بودن مدل است. در غیر این صورت، صحت و اعتبار مدل مورد قبول نخواهد بود.

برای تعیین میزان تاثیرگذاری هر یک از پارامترها بر دقت شبیه‌سازی، تحلیل حساسیت روی آن‌ها انجام شد. به طور کلی حساسیت تابع هدف نسبت به پارامترهای مختلف با معادله (۱) محاسبه می‌شود (خلیقی سیگارودی، ۱۳۸۳) که در آن، SEN مقدار حساسیت تابع هدف حاصل از تغییر در اندازه پارامتر، New مقدار جدید خروجی مدل حاصل از تغییر در اندازه پارامتر جدید، Old خروجی اولیه مدل و PC درصد تغییرات در پارامتر است.

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{SEN} = 100 \frac{\text{New} - \text{Old}}{\text{Old} \cdot \text{PC}}$$

برای تحلیل حساسیت خروجی نسبت به پارامترها، از وقایع مختلف، واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ انتخاب شد. دبی اوج مشاهده شده این واقعه ۳۷۹ مترمکعب بر ثانیه است که برای محاسبه میزان حساسیت دبی اوج نسبت به سه پارامتر زمان تاخیر، شماره منحنی و تلفات اولیه در روش SCS مورد استفاده قرار گرفت.

در این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدروگراف سیل پس از بهینه‌سازی، از چهار آماره ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (معادله ۲)، MSE (معادله ۳)، MAE (معادله ۴) و MAPE (معادله ۵) استفاده گردید. فرمول کلی این معادله‌ها به ترتیب در روابط زیر نمایش داده شده است.

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [(O_i) - (P_i)]^2}$$

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{MSE} = \sum_{i=1}^n [(O_i) - (P_i)]^2$$

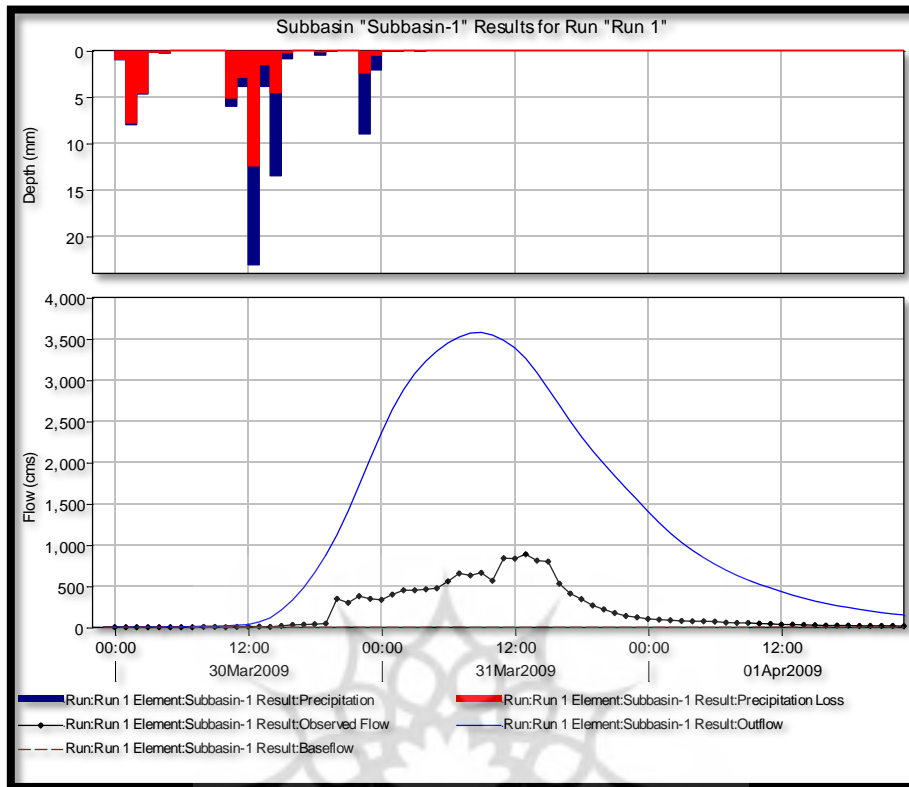
$$\text{معادله (۴)} \quad \text{MAPE} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{P_i} \right|$$

$$\text{معادله (۵)} \quad \text{MAE} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{N} \right|$$

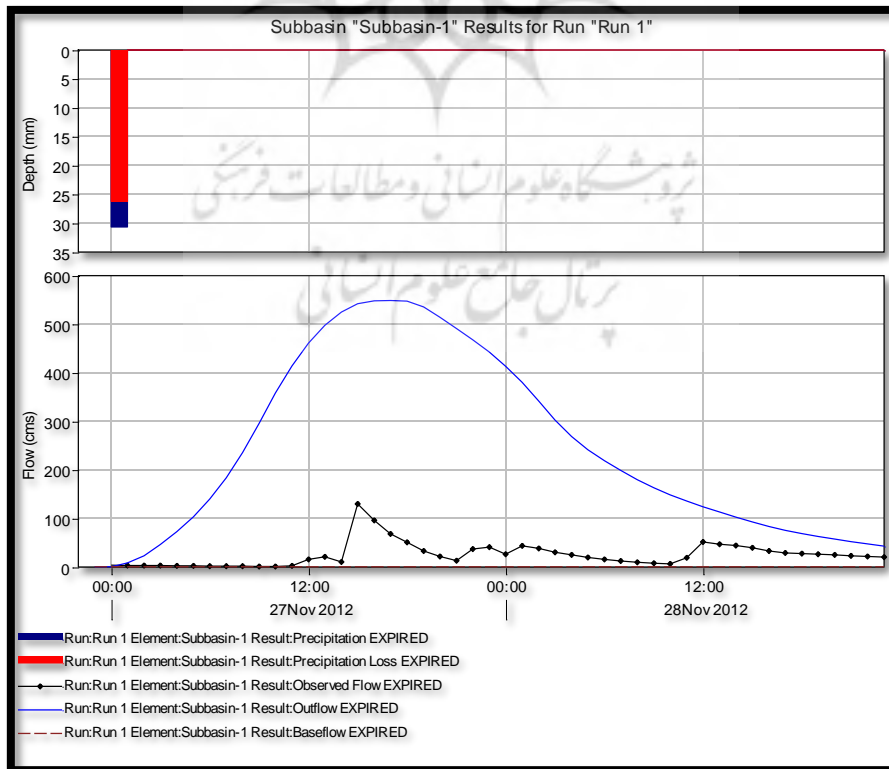
در معادله‌های فوق O_i و P_i : به ترتیب مقادیر مربوط به داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است، \bar{O} : میانگین داده‌های مشاهداتی و n : تعداد داده هست.

یافته‌ها و بحث

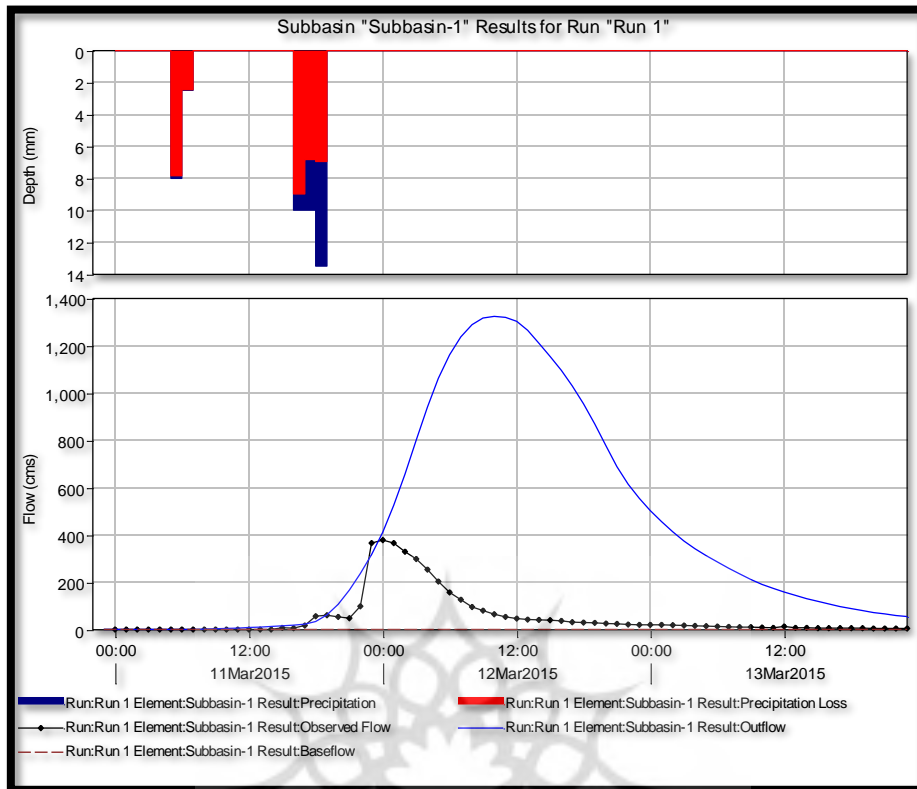
نتایج شبیه‌سازی در این تحقیق (اشکال ۴ تا ۸) نشان می‌دهد که اختلاف داده‌ها در محاسبه زمان دبی اوج و حداکثر دبی اوج سیلاب به وضوح قابل مشاهده است. هیدروگراف‌های ترسیمی در تاریخ‌های ۱۳۸۸/۱/۱۱، ۱۳۹۱/۹/۷ و ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ و مقادیر محاسباتی در برآورد دبی اوج سیلاب و حجم سیلاب، بیشتر از مقادیر واقعی آنها است (اشکال ۴، ۵ و ۶). در مقابل در تاریخ‌های ۱۳۸۹/۱۲/۱۰ و ۱۳۹۲/۲/۲۰ مقادیر محاسباتی در برآورد دبی اوج سیلاب و حجم کمتر از مقادیر واقعی آنها می‌باشد (اشکال ۷ و ۸). همچنین در هیدروگراف‌های ۱۳۸۹/۱۲/۱۰، ۱۳۸۸/۱/۱۱، و ۱۳۹۱/۹/۷ زمان دبی اوج تقریباً بر زمان واقعی منطبق است. در تاریخ ۱۳۹۲/۲/۲۰ اوج آن حدود یک ساعت زودتر از زمان واقعی اتفاق افتاده است. و در تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۲۱ با تاخیر حدود ۱۲ ساعت اوج هیدروگراف محاسباتی رخ داده است. بنابراین، تفاوت یاد شده باعث شد که واسنجی مدل انجام گیرد.



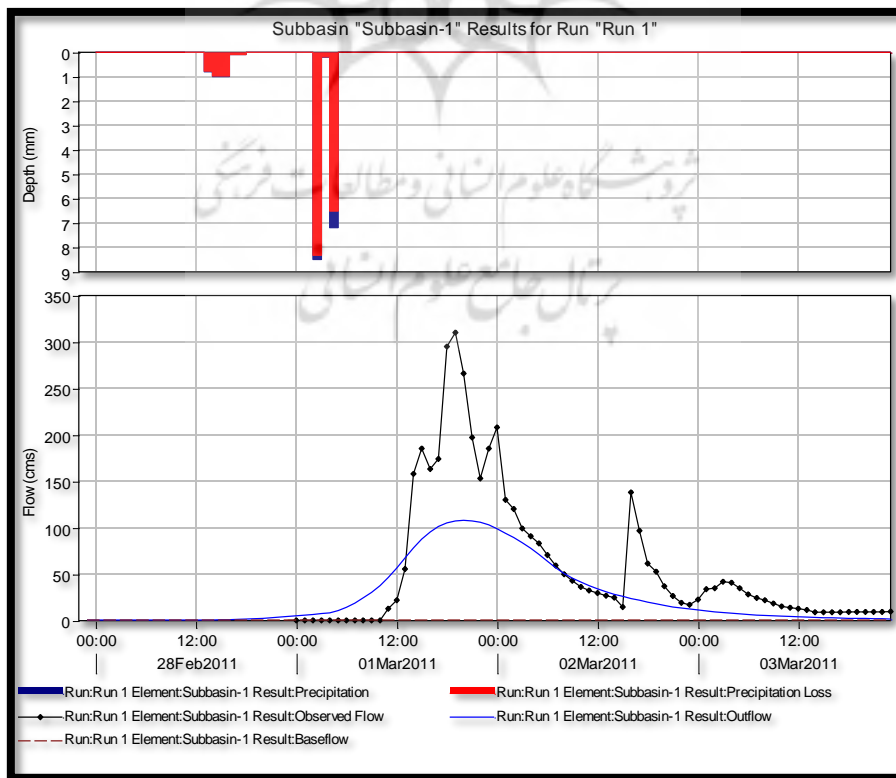
شکل ۴. هیدروگراف واقعه ۱۳۸۸/۱/۱۱



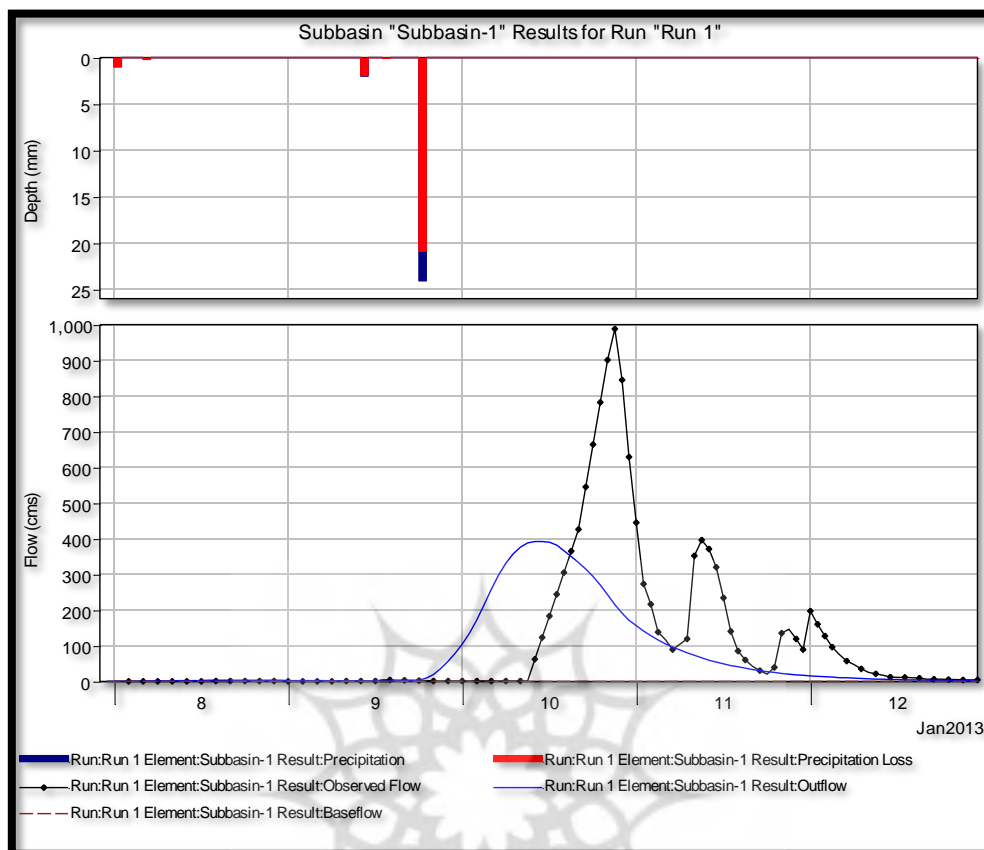
شکل ۵. هیدروگراف واقعه ۱۳۹۱/۹/۷



شکل ۶. هیدروگراف واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۲۱



شکل ۷. هیدروگراف واقعه ۱۳۸۹/۱۲/۱۰

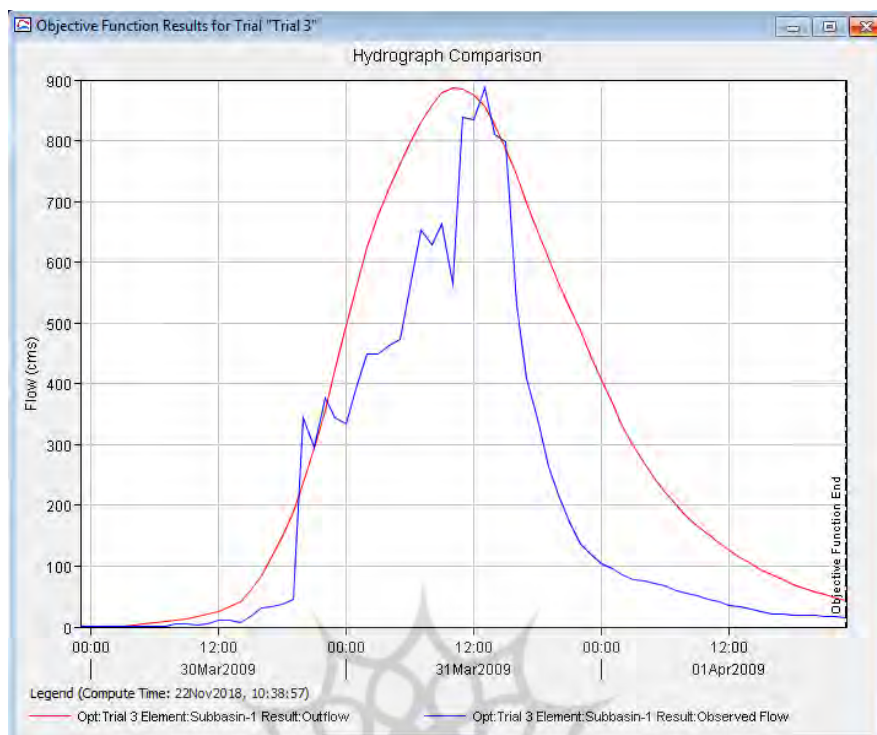


شکل ۸. هیدروگراف واقعه ۱۳۹۱/۱۰/۲۱

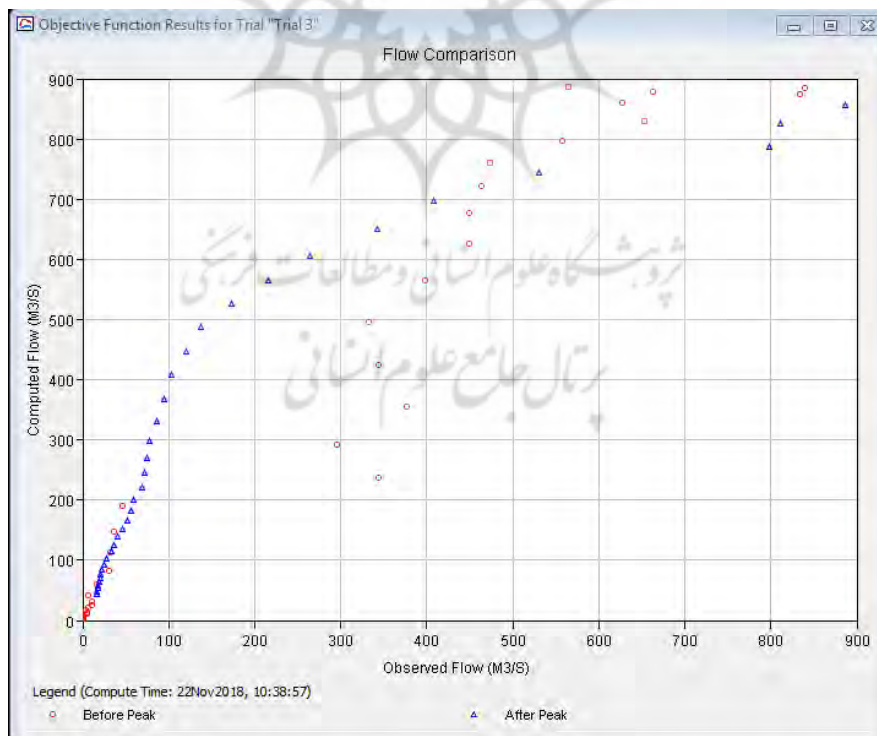
برای واسنجی مدل، مقادیر دبی اوج سیل به دلیل با اهمیت بودن به عنوان شاخص واسنجی مورد توجه قرار گرفت. نتایج واسنجی برای پنج واقعه به دست آمد، که نمونه آن بر اساس مدل SCS برای واقعه ۱۳۸۸/۱/۱۱ در جدول (۳) و اشکال (۹ و ۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۳. مقادیر واسنجی پارامترها در بخش تبدیل بارش به رواناب در هر ۳ روش ذکر شده در واقعه ۱۳۸۸/۱/۱۱

اشنایدر	SCS	کلارک	روش
۶/۱۶۵	۲۸/۴۶۷	۲۶/۷۵۵	تلفات اولیه
۸۲/۶۱۶	۴۸/۸۴۷	۵۱/۸۰۲	CN
		۴۳/۱۱۵	زمان تمرکز(ساعت)
		۱/۰۴۹	ضریب ذخیره(ساعت)
	۹۸۶/۰۱		زمان تاخیر(دقیقه)
۱۲/۶۰۹			زمان تاخیر استاندارد
۰/۱۰۰			PC



شکل ۹. دبی مشاهداتی و محاسباتی بعد از واسنجی در واقعه ۱۳۸۸/۱/۱۱



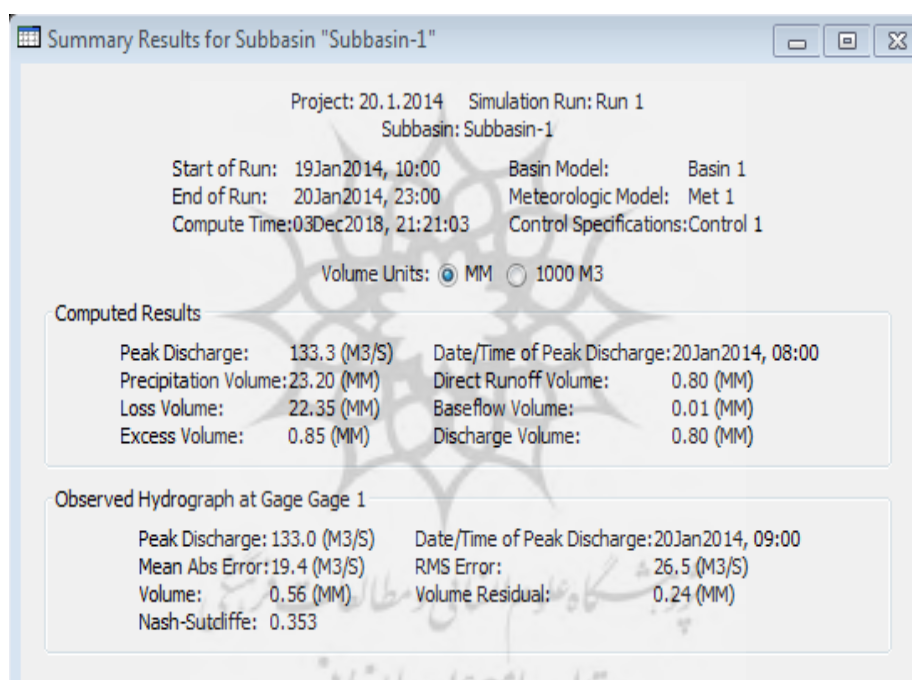
شکل ۱۰. گراف پراکندگی در واقعه ۱۳۸۸/۱/۱۱

اعتبارسنجی مدل‌ها برای دو رویداد دیگر بارش - رواناب که در واسنجی لحاظ نشده بودند، پس از ورود پارامترهای جدید به مدل انجام شد. این رگبارها شامل رگبارهای ۱۳۹۲/۱۰/۳۰ و ۱۳۹۲/۱۲/۲۳ هستند. ارزیابی اختلاف دبی اوج شبیه‌سازی شده وقایع بعد از اعتبارسنجی، به عنوان نمونه در مدل SCS (جدول ۴) با مقدار خطای ۰/۲ و ۰/۰۶ درصد، نشان داد که

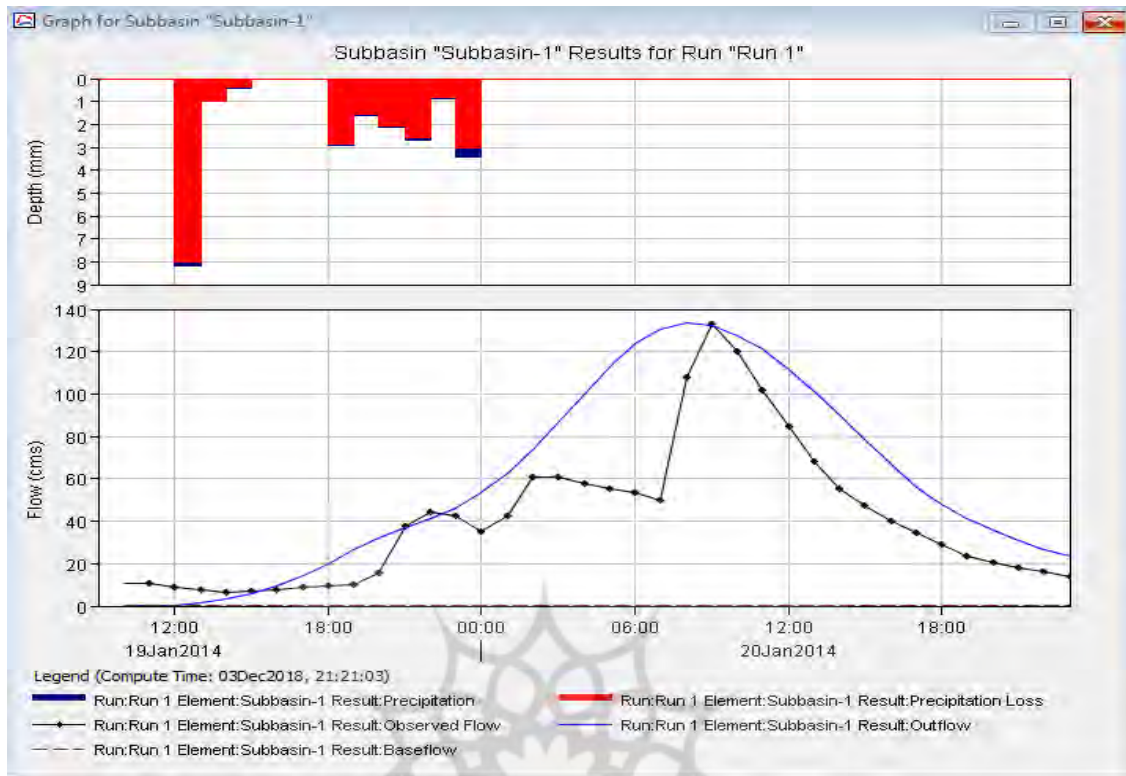
این مدل به دلیل خطای کم از اعتبار بالایی برخوردار است. به دلیل صحت مقادیر پارامترهای واسنجی شده می‌توان از این مقادیر در مدل نهایی بارش-رواناب حوضه استفاده کرد. اشکال (۱۱ و ۱۲) هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده واقعه ۱۳۹۲/۱۰/۳۰ را به عنوان نمونه بعد از اعتبارسنجی نمایش می‌دهد. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج رحیم‌زاده (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

جدول ۴. ارزیابی اختلاف دبی اوج شبیه‌سازی شده بعد از اعتبارسنجی

TLag	IA	CN	خطا(درصد)	دبی اوج	دبی اوج	کل بارش (میلیمتر)	تاریخ وقوع بارش
				محاسباتی	مشاهداتی		
۶۲۰/۷۳۴	۱۶/۰۹۶	۶۷/۷۳۳	۰/۲	۱۳۳/۳	۱۳۳	۲۳/۲	۱۳۹۲/۱۰/۳۰
۶۲۰/۷۳۴	۱۶/۰۹۶	۶۷/۷۳۳	۰/۰۶	۶۵۸/۴	۶۵۸	۳۹/۱	۱۳۹۲/۱۲/۲۳



شکل ۱۱. واقعه ۱۳۹۲/۱۰/۳۰ بعد از اعتبارسنجی



شکل ۱۲. هیدروگراف واقعه ۱۳۹۲/۱/۳۰ بعد از اعتبارسنجی

پس از اعتبار سنجی برای تحلیل حساسیت پارامترهای مدل، مقدار سه پارامتر تلفات اولیه، شماره منحنی و زمان تأخیر بعد از واسنجی، در بازه‌ای از ۲۰٪- تا ۲۰٪+ با فواصل ۵٪ تغییر داده شد و اثر آن بر دبی اوج سیل تعیین گردید. نتایج این بخش نشان داد که تابع هدف (دبی اوج) بیشترین حساسیت را نسبت به تغییر شماره منحنی و تلفات اولیه دارد و نسبت به تغییرات زمان تأخیر حساسیت کمتری را دارا می‌باشد (جدول ۵). نتایج تحقیقات کتول و همکاران (۲۰۰۳) و چیداز و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که حساس‌ترین پارامترها شماره منحنی است که مشابه نتیجه این تحقیق می‌باشد. نتایج تحقیق کریمی (۱۳۹۰) که در آن بیشترین حساسیت مربوط می‌شود به پارامتر تلفات اولیه با نتایج آن متفاوت است.

جدول ۵. مقایسه میزان حساسیت پارامترها برای واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۲۱

درصد تغییرات پارامتر	-۰/۲۰	-۰/۱۵	-۰/۱۰	-۰/۵	۰	+۰/۵	+۰/۱۰	+۰/۱۵	+۰/۲۰
CN	۴۵/۵۰	۴۸/۳۵	۵۱/۱۹	۵۴/۰۴	۵۶/۸۸۵	۵۹/۷۲	۶۲/۵۷	۶۵/۴۱	۶۸/۲۶
دبی اوج	۲۸۱/۵	۳۰۲/۵	۳۲۵/۵	۳۵۰/۹	۳۷۹	۴۱۰/۲	۴۴۵/۳	۴۸۴/۸	۵۲۹/۸
درصد تغییرات دبی اوج	-۲۵/۷۲	-۲۰/۱۸	-۱۴/۱۱	-۷/۴۱۴	۰	۸/۲۳	۱۷/۴۹	۲۷/۹۱	۳۹/۷۸
میزان حساسیت CN	-۱/۲۸	-۱/۳۴	-۱/۴۱	-۱/۴۸	۰	۱/۶۴	۱/۷۴	۱/۸۶	۱/۹۸
IA	۱۷/۰۵	۱۸/۱۱	۱۹/۱۸	۲۰/۲۴	۲۱/۳۱۳	۲۲/۳۷	۲۳/۴۴	۲۴/۵۰	۲۵/۵۷
دبی اوج	۴۸۸/۵	۴۵۹/۸	۴۳۱/۸	۴۰۵	۳۷۹	۳۵۴/۳	۳۳۰/۳	۳۰۷/۶	۲۸۵/۷
درصد تغییرات دبی اوج	۲۸/۸۹	۲۱/۳۱	۱۳/۹۳	۶/۸۶	۰	-۶/۵۱	-۱۲/۸۴	-۱۸/۸۳	-۲۴/۶۱
میزان حساسیت IA	۱/۴۴	۱/۴۲	۱/۳۹	۱/۳۷	۰	-۱/۳۰	-۱/۲۸	-۱/۲۵	-۱/۲۲
Lag	۷۸۲/۸۸	۸۳۱/۸۲	۸۸۰/۷۶	۹۲۹/۶۹	۹۷۸/۶۸	۱۰۲۷/۵۶	۱۰۷۶/۴۹	۱۱۲۵/۴۳	۱۱۷۴/۳۶
دبی اوج	۴۴۶/۱	۴۴۰/۳	۴۱۷/۶	۳۷۹/۴	۳۷۹	۳۶۲	۳۴۶/۸	۳۳۳	۳۲۰/۲
درصد تغییرات دبی اوج	۱۷/۷۰	۱۶/۱۷	۱۰/۱۸	۰/۱۰۵	۰	-۴/۴۸	-۸/۴۹	-۱۲/۱۳	-۱۵/۵۱
میزان حساسیت Lag	۰/۸۸	۱/۰۷۸	۱/۰۱۸	۱/۰۲۱	۰	-۱/۸۹۷	-۱/۸۴۹	-۱/۸۰۹	-۱/۷۷

نتایج ارزیابی مدل در این پژوهش نشان داد که مدل SCS توان پیش‌بینی سیلاب‌ها برای حوضه سد استقلال میناب را بهتر از روش‌های اشنایدر و کلارک دارد (جدول ۶). شواهد نشان می‌دهد که این روش در مناطق نیمه خشک و خشک به نتایج قابل قبولی منجر می‌شود. نتایج مطالعات در دور (۲۰۱۷)، یمانی (۲۰۱۶)، رادمنش (۱۳۸۵)، میرمهدی (۱۳۸۷) هم این امر را تصدیق می‌کند. نتایج قابل قبول این مدل چنان که نتایج پژوهش میلینگ (۲۰۱۶) و حسین‌زاده و همکار (۱۳۹۵) نشان می‌دهد همیشه نمی‌تواند مصداق داشته باشد. بر اساس نتیجه مطالعه برخورداری و همکاران (۱۳۸۵) مدل SCS در مناطق دشتی نتایج قابل قبولی دارد. از آنجا که حدود یک سوم سطح حوضه مورد مطالعه را دشت در بر می‌گیرد، مدل SCS در این منطقه به نتیجه مناسبی رسیده است.

جدول ۶. ارزیابی نتایج مدل‌های SCS، کلارک و اشنایدر واقع در نرم‌افزار HEC-HMS

مدل	MSE	RMSE	MAE	MAPE
SCS	۰/۱۲۵	۰/۳۵۳	۰/۰۰۱	۰/۱۴۳
کلارک	۱۳۸۷۳/۴۵	۱۱۷/۷۸۵	۱۰۱/۱۵	۲۷/۶۱۰
اشنایدر	۶۳۳۹/۴۶	۷۹/۶۲۰	۵۶/۵	۴۲/۳۶۱

نتیجه گیری

نتایج حاصل از اعتبارسنجی و ارزیابی مقادیر خطا، در این حوضه نشان داد که روش SCS در خصوص برآورد دبی اوج هیدروگراف سیل نسبت به روش‌های اشنایدر و کلارک برتری دارد. بررسی بر روی پارامترهای مدل نشان داد که پارامتر شماره منحنی و تلفات اولیه که با ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه در ارتباط هستند دارای حساسیت بالایی می‌باشند، در صورتی که سایر پارامترها دارای حساسیت کمتری نسبت به تغییر مقدار تابع هدف در مدل HEC-HMS هستند. از آنجا که این منطقه در ناحیه نیمه خشک و خشک قرار دارد و بسیاری از پیش‌بینی‌های موفق سیلاب برای مناطق خشک بر اساس SCS به دست آمده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که این مدل برای مناطق خشک مدل مناسبی محسوب می‌شود. به ویژه در مناطقی که حوضه‌های مورد بررسی شرایط ژئومورفولوژیکی شبیه منطقه بالادست سد میناب داشته باشند با اطمینان بیشتر می‌توان این روش را به کار برد. در منطقه مورد مطالعه با وجود این که شکل ظاهری حوضه کشیده است، سیستم زهکشی آن از تلاقی دو شاخه مجزا شکل می‌گیرد که در صورت وقوع بارندگی که کل سطح حوضه را در بر بگیرد می‌تواند در خروجی حوضه رواناب زیاد و پیک بالایی را ایجاد کند. به علاوه بخش اعظم حوضه را نواحی کوهستانی تشکیل می‌دهد که در سیلابی بودن حوضه نقش مهمی ایفا می‌کند. با یک نگاه اجمالی به وضعیت ژئومورفولوژیکی حوضه می‌توان دریافت که بخش شمالی حوضه به لحاظ کوهستانی بودن و آرایش سیستم زهکشی آن به لحاظ دریافت شاخه‌های مجزا و غیر خطی و بخش‌هایی از غرب آن به لحاظ وجود بدلند نقش موثری را در تولید رواناب دارند. به طور کلی با بررسی بیشتر ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و تاکید بر مدل‌سازی بر اساس این ویژگی‌ها می‌تواند به ساخت مدل‌ها و پیش‌بینی‌های دقیق منجر شود.

منابع

- برخورداری، جلال؛ تلوری، عبدالرسول، غیائی، نجفقلی، رستگار حسین، ۱۳۸۵، بررسی قابلیت به‌کارگیری و ارزیابی روش‌های تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی در برآورد سیلاب در حوضه آبخیز سیخوران استان هرمزگان، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۱، صفحات ۶۵-۵۷.

- پورحسین قادری، سیما؛ محمدنژاد، بایرامعلی، ۱۳۹۲، مدل‌سازی بارش-رواناب در حوضه آبخیز نازلوچای ارومیه با استفاده از مدل *WSS EEEC-HSS*، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی.
- چیداز، آتنا؛ محسنی ساروی، محسن؛ وفاخواه، مهدی، ۱۳۸۸، ارزیابی مدل *EEC-SSS* به منظور برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه آبخیز کسلیان، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۸۴، صفحات ۷۱-۵۹.
- حسین‌زاده، محمد مهدی؛ ایمنی، سپیده، ۱۳۹۵، مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک-رودک با استفاده از مدل *EE fSSS*، پژوهش‌های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۵، صفحه ۴۳-۳۱.
- حسینی، سید موسی؛ جعفریگللو، منصور؛ یمانی، مجتبی؛ گراوند، فاطمه، ۱۳۹۴، پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی *EEC-SSS*، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۱.
- حسادی، همایون؛ امیدی، نرگس؛ مسعودی تبار، رضا، ۱۳۹۵، بررسی سیلاب حوضه ناودار به وسیله مدل هیدرولوژیکی *EEC-SSS*، سومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.
- خلیقی، ش، ۱۳۸۳، بررسی میزان تاثیر تغییر کاربری اراضی و مشخصات هیدرولوژیک آب‌های سطحی حوضه آبخیز باراندوز چای استان آذربایجان غربی، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، صفحه ۲۱۸.
- رادمنش، ف؛ پرهمت، ج؛ بهنیا، عبدالکریم؛ آخوندعلی، علی محمد، ۱۳۸۵، واسنجی و ارزیابی مدل *EEC-SSS* در حوضه آبخیز رود زرد، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- رحیم‌زاده، زهرا؛ حبیبی، مینا، ۱۳۹۷، شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با مدل هیدرولوژیک *SS C-SSS* و پیش‌بینی دوره بازگشت در حوضه روانسر کرمانشاه. جغرافیا و توسعه، شماره، صفحات ۱۹۴-۱۷۵.
- شکری کوچک، سعید؛ بهنیا، عبدالکریم؛ رادمنش، فریدون؛ آخوندعلی، علی محمد، ۱۳۹۰، تخمین آبنمود سیلاب حوضه آبخیز با استفاده از مدل *EEC-SSS* و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه ایدنک)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال سوم، شماره ۵، صفحات ۸۵-۶۳.
- کریمی، مریم؛ ملکی نژاد، حسین؛ عبقری، هیراد؛ عزیزیان، محمدصادق، ۱۳۹۰، ارزیابی روش‌های مختلف شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با استفاده از بسته نرم‌افزاری *EEC-HSS* (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چهل گزی)، مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره ۹، صفحات ۳۸-۲۹.
- کریمی، مریم؛ غفاری، گلاره؛ عزیزیان، محمدصادق، ۱۳۹۰، شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب با استفاده از مدل *EEC-SSS* مطالعه موردی: حوضه آبخیز لیقوان، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، صفحات ۱۲-۱.
- مزیدی، احمد؛ کوشکی، سمیرا، ۱۳۹۴، شبیه‌سازی بارش-رواناب و تخمین سیل در حوضه آبریز خرم‌آباد با مدل *EEC-SSS*، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۱، صفحات ۹-۱.
- محمودیان شوشتری، م؛ مجدزاده طباطبایی، م، یوسفی، ع، ۱۳۸۱، بررسی و کاربرد مدل *EEC-SSS* در مهندسی رودخانه، بررسی موردی: رودخانه‌های کر و سیوند استان فارس، ششمین سمینار بین‌المللی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۰۶۸-۱۰۶۱ ص.

- مهدی نسب، مهدی؛ طاووسی تقی؛ میرزایی رضا، ۱۳۹۳، پیش‌بینی احتمال وقوع سیل و حداکثر بارش متحمل زیر حوضه پلدختر با استفاده از روش سری های جزئی، اکوسیستم‌های طبیعی ایران، دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۹۷-۱۰۹.
- میر مهدی، م؛ جهانگیر، ع، ۱۳۷۸، واسنجی مدل ریاضی EEC-SSS و ارزیابی این مدل در پاسخگویی به سیلاب حوضه آبریز مارون، چهارمین کنگره ملی مهندس عمران، دانشگاه تهران، ۷-۱.
 - , , , , , 8888. iii ff all fffff f in tee Gdddll ppe rierer sss in-EE 777 GIS in Wt er uuuuuuee,, tttt i,, Txx... wwwweettt esss eau
 - Grrci,, ,, iii ,, ,, ee ii ll,, .. ddd Alaare,, C,, uuffae Wt er Rerrrr ees eeeesttttt in saareely aauddd sss iss in tee oott h ff Siii ,, Jaaaaaof Hddrll oyy, V. 666, PP2 222..
 - Drruur; .. Bnnnnnnn ddd K bbbbnmmmm,, 7777. Hyrrroliii ll meeeligg in eemi-rrid rgginn ssigg HCC-HMS mllll . Csse ttuyy in Ain eefaa wtt rrrhh,, Kuuur Muutt ii ns (WW ii)), uuullll ff mmmmmmmth nnd iiiii ii iii cccss, , 2227- 444,, iii : 4444444ff... iii ...
 - Kffl,, TPP, Haaaiik,, MKK, Kkkki,, ,, Srrsst,, .. M,, aaaaaa aaaddd Smnkkkko,, L sss in ccale aaiff ll l fffff f meeeligg fr flddd forccttt ,, 5th Aaaaal Megggg flood mmmmmmm ietmmr PP..
 - Kit ll PPPWrrrrr HDDnnd Troii nn TPP, 3333. Prdditt igg nnnff fr Frennnny eeeed tt gg r rr iii tt iRR ffff f Molll . AAAAAA AAA Dttt .. U.....
 - Kllll , M,,, Y,,, , , , , tt hhi,,, K,, Maimmnt, D,,, ,,,, gggiaal aaale oood Meeling ssigg NXXAAD, fffff ff l, GI,, ~ddd4HCC-HMS\AAS: A Cee tt uff f tt ee San nnnnnn Rieer aa ii n mmmmer 2222 Stmmn Eeent, rrrr aal of nn ii rmmratt al Maaaeemttt , ::: 555-....
 - eeeeeee eaa F. ddd Mooodii ,, mrrrr ion ff WNNM ddd HCC-HMS fr fffff f Hrrr gghhhh hrddiction in a mnl l Unnnn n atnnnnn Wt rr uuuuuu M,,,,, ,, 5555-oooo o0000000l 19999-555-5553-7
 - Mllll l, C..3 nnd G.%tttt t ,,22 ... forccsstigg%add dddrolggic mllll itt rrr ation for impreeed lddd4 sse cccisinn spptttt .s rrrr aal of vvv ironmttt ll 3 Mgggggtttt t pppteee 2 2,,, aeee 9 99
 - Mii ligg W,, iii ,, hlll ma D ,, ddrll iii ll Meeling in A iiiii -iii d Riit on Uii gg HCC-HM.. rrrr nll ff Wt er eeuuuree nnd Hylllll lc gggieeii n,, Vl . 5 Iss. ,, 555-1,, iii : 5555555WRH4444444
 - Nrrnnn ,,, aaaaad ,, Kmllll ,, 2.... .. id rrrr ll ggiaal meeeling tt wiii iiiii ii i iii nuuu uuurr iii JJ Jaaad Tkoolggi 11 1 iiii iii i 111111//jt.5555555
 - N S mmmll i. Z Yss,, ddd A Z ll ll ll ll 00... Hddrll oii aal Mddll ligg Uii gg HEC-HMS fr oood Rikk Assessmnt ff gggmmt Tww,, Mll ayii,, IOP Cnnf. rrr iss: Matrrill s iii nee agg ggggeeiing 318 999999 999111V/// 5557-XXXX888/// 999999
 - N .. mmmll i, .. Ypppp ppd .. Z ll ll ll ll ,, 1118. Hrrr oliii ll Meeligg ssigg HCC-HMS fr oood Rikk ss eessmtt of aaaaaa aTww,, Malsss ia, IOP Cfff . rrr ie:: Matrrill s iii nee agg ggggeeiin 3 399 999999 999111V/// 5557-XXXX888/// 2222222
 - iiiii , M... Mr rrrrrffi WW Tti a aNN MMMii,, ,, ,, 10" "l eee e eamtt iss s tddies ssigg rrrr ll ggic meeeling system (HCC- HM) fr rrrrr rierer, Malsss ia", rrrr nll ff iiiii ii iii nees :N00: PP0 000033..
 - hhhh hhM. ,, O'Celee ll P.. ddd Hkkkigg M,, 19... Molll ligg tee effctts of tttt ill
 - rrr iaai lity in rii nfall nn aatttttt rsspeeee: mmmmtt inn ddd aalibttt inn of a tt cctttt ic
 - iii nfl l fielm mddll . rrrr nal ff ddrll yyyv v 555: 77-8..
 - mmmratt h D. ,, W° rooon ddd Hrrrath ,, 00... HCC-HMS Meel fr fffff f ii mll atinn
 - in a Triii ll Ctt cmmttt with Intaa-sss in Dierii oss Cee Styyy of tee D°uuuu Oya vvvrr

- *iiii* ,, *iii L.....* *INEEVV W X XII IIN N 111 lloo oα*
- *8888888gggieerrviii 14444.*
- *Wttt rr H,, oorhhhhinn S,, aaaaaa a DD, 8888. Hddrll iii aal meeelligg in aii d nnd eemi-iii d*
- *rraamm mmmminnn nn wrrsitr rr e.. C @nbii ggK KK()))))))))))) I:*
- *7777777COO1111111177744*
- *tt tp://wwwiinnii r/f// Nww/33333333*

