

## مقایسه خصوصیات واکنشی و بیلان حجمی آب در سه روش هیدروگراف واحد (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ونک)

سمیرا بیاتی<sup>۱</sup>، محمدعلی نصر اصفهانی<sup>۲</sup>، خدایار عبدالهی<sup>۳</sup>\*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۰۸؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۳/۱۶)

### چکیده

هیدروگراف واحد، یک روش شبیه‌سازی سیلاب در پاسخ به یک واحد بارش مازاد روی کل حوضه آبخیز است که بر پایه اصول سیستمی انطباق و تناسب عمل می‌کند. روش‌های متفاوتی از هیدروگراف واحد ارائه شده است که عملکرد آنها در شرایط محلی حوضه‌های آبخیز متفاوت است. در این تحقیق به منظور مقایسه عملکرد این روش‌ها با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و با اعمال روش احتساب‌کننده رطوبت خاک (SMA) و روش مخزن خطی به ترتیب برای محاسبه میزان تلفات و جریان پایه حوضه، هیدروگراف سیلاب و مشخصات آب‌نمود سیل شامل دبی اوج و حجم رواناب با استفاده از سه روش هیدروگراف واحد اشنایدر، کلارک و SCS شبیه‌سازی شد. برای مقایسه کارایی مدل‌ها، ضریب کارایی نش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. پارامترهای هیدرولوژیکی مدل به صورت دستی و با استفاده از روش سعی و خطا ارزیابی و واسنجی شد. نتایج نشان داد درصد اختلاف بین حجم رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در هر سه روش کاملاً نزدیک بود. در حالی که از نظر دبی اوج، روش هیدروگراف واحد کلارک با ضریب کارایی نش-ساتکلیف ۰/۶۸ کمترین میزان درصد اختلاف بین دبی اوج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان داد.

**کلیدواژه‌گان:** حوضه آبخیز ونک، مدل HEC-HMS، نش-ساتکلیف، هیدروگراف واحد.

## مقدمه

سیل به هر جریان سطحی آب با جریان آبی بیشتر از جریان عادی مقطع آبراهه، مسیل یا رودخانه با تداوم زمانی محدود گفته می‌شود که جریان به‌دست‌آمده از بستر طبیعی تجاوز کند و اراضی پست و حاشیه‌ای را در بر گیرد و به دنبال آن سبب ایجاد خسارت‌های جانی و مالی نیز شود [۱]. به دلیل فراوانی این نوع خسارت‌ها، برنامه‌ریزی به منظور مدیریت و کنترل سیلاب‌ها اهمیت خاصی دارد. مدل‌سازی هیدرولوژیکی ابزاری مدیریتی برای سیلاب محسوب می‌شود که با استفاده از اصول سیستمی برای یک حوضه، فرایندهای هیدرولوژیکی را در مقیاس کوچک توصیف می‌کند و چگونگی پاسخ حوضه به یک رویداد بارش مجزا مانند مقدار رواناب سطحی، دبی اوج و زمان رسیدن به اوج را نشان می‌دهد [۲]. امروزه، با پیشرفت علوم رایانه‌ای به‌ویژه اهمیت مدل‌سازی کامپیوتری سیل برای پیش‌بینی این پدیده به‌منظور هشدار پیش‌روی این مسئله در شرایط طاقت‌فرسا برای کاهش خسارت مالی و هر ضرر و زیان دیگر افزایش یافته است، اما دقت مدل‌های هیدرولوژیکی در درجه نخست به داده‌های ورودی صحیح مانند بارش بستگی دارد که از نظر توزیع زمانی و مکانی تغییر می‌کنند [۳]. مدل‌های هیدرولوژیکی ساده‌سازی‌های زیادی انجام می‌دهند، بنابراین عملکرد آنها با توجه به محل و نوع روش تغییر می‌کند. این تحقیق درصدد است تا با مقایسه کاربردی سه روش تابع انتقال به شناخت بهتری از عملکرد این توابع در جنوب غربی کشور بپردازد.

با توجه به اهمیت پیش‌بینی و تعیین میزان کمی فرایندهای ایجاد رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی حوضه آبخیز، مدل‌های مختلفی توسط محققان و سازمان‌های مطالعاتی-تحقیقاتی در کشورهای جهان ارائه شده است که به‌منظور شبیه‌سازی هدایت رواناب و تخلیه جریان‌های سطحی در اراضی بالادستی به محل خروجی حوضه استفاده می‌شوند. با پیشرفت چشم‌گیر مدل‌های بارش-رواناب، مدل‌هایی که علاوه بر دبی حداکثر اوج، رژیم جریان سطحی در هر نقطه از محدوده مطالعه‌شده را نیز محاسبه می‌کنند، به‌تدریج جایگزین روش‌های ساده‌ای همچون روش استدلالی شده است [۴]. شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی امکان استخراج هیدروگراف سیلاب را فراهم می‌آورد که به این طریق می‌توان اقداماتی به‌منظور

کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب در منطقه انجام داد و یا حتی به امر مدیریت مصرف آب و پساب‌ها کمک کرد.

HEC-HMS یکی از مدل‌های کامپیوتری مؤلفه‌ای برای شبیه‌سازی همبستگی بارش-رواناب است که از تئوری سیستم‌ها برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی بهره می‌گیرد. بنابراین، به دلیل توانایی آن در شبیه‌سازی رویدادهای کوتاه‌مدت، مدل‌سازی پیوسته، راحتی کاربرد و استفاده از روش‌های معمول آن، در ایران بسیار متداول شده است [۵]. با توجه به تنوع مؤلفه‌ها، مدل HEC-HMS با موفقیت در مطالعات متعددی در جهان از جمله مدل‌سازی بارش-رواناب، پیش‌بینی سیلاب، مدیریت مخازن آب، تأثیر تغییر کاربری اراضی و بسیاری مطالعات دیگر استفاده شده است [۶].

کریمی و همکارانش [۷] مدل HEC-HMS را در حوضه آبخیز چهل‌گزی برای مقایسه عملکرد سه روش هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، اشنایدر و کلارک، در شبیه‌سازی ویژگی‌های هیدروگراف سیلاب مانند دبی اوج، حجم رواناب و زمان اوج به کار بردند. در این مطالعه برای محاسبه میزان تلفات و جریان پایه از روش شماره منحنی و روش خشکیدگی یا فروکش استفاده شد. با استفاده از دو آماره ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا، نتایج شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی هیدروگراف سیلاب مقایسه شد و روش SCS نسبت به دو روش دیگر کارایی بهتری داشت. در مطالعه چیداز و همکارانش [۸] نیز این سه روش در برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه آبخیز کسلیان مقایسه شدند. در تحقیق یادشده روش شماره منحنی در بخش تلفات و روش ماسکینگام برای روندیابی سیل انتخاب شد. در این بررسی، روش هیدروگراف واحد SCS به دلیل درصد اختلاف کمتر بین دبی مشاهداتی و محاسباتی و بررسی هیدروگراف‌ها، به عنوان روش مناسب انتخاب شد. آخوندعلی و سیدکابلی [۹] هیدروگراف خروجی ۲۴ واقعه رگباری را شبیه‌سازی کردند و توانایی روش‌های هیدروگراف واحد SCS و کلارک را در برآورد ویژگی‌های هیدروگراف سیلاب مانند دبی اوج، حجم رواناب و زمان اوج را مقایسه کردند. نتایج به‌دست‌آمده برتری روش کلارک را نسبت به روش SCS نشان داد. تحقیقات ماسون [۱۰] نشان داد در مقایسه روش‌های تبدیل بارش به رواناب، روش‌های اشنایدر و SCS در بیشتر موارد حداکثر جریان را بیش از حد برآورد می‌کنند،

است که به عنوان حلقه واسط محاسباتی ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها عمل می‌کنند.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه شده

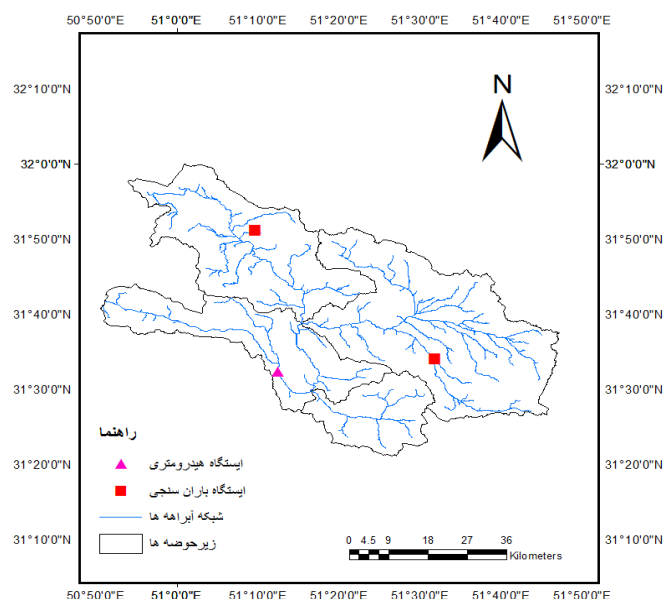
حوضه آبخیز ونک با مساحت حدود ۳۰۷۳ کیلومتر مربع در جنوب شرقی حوضه آبخیز کارون شمالی واقع شده است. این منطقه اقلیم نیمه‌خشک سرد دارد. قسمت غربی حوضه بیشتر تحت تأثیر جریان‌های مدیترانه‌ای است، به همین دلیل میزان ریزش‌های جوئی در این قسمت بیشتر از قسمت شرقی حوضه است. بیشترین ریزش‌ها در فصل زمستان و بعد از آن فصل‌های پاییز و بهار است و در فصل تابستان بسیار اندک است. حوضه ونک منطقه‌ای نسبتاً کوهستانی و با ارتفاع زیاد محسوب می‌شود و شیب‌های بسیار متنوع از اراضی مسطح تا شیب‌های بسیار تند بیش از ۶۰ درصد دارد [۱۵]. حدود ۳۴ درصد از این منطقه شیب کمتر از ۱۰ درصد دارد. کمترین و بیشترین ارتفاع حوضه بین ۱۱۱۴ متر (خروجی حوضه آبخیز) و ۳۸۵۹ متر (در ارتفاعات حوضه) است. تقریباً بیش از دو سوم حوضه ارتفاعی بیش از دو هزار متر دارد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه می‌توان انتظار داشت در زمستان اغلب بارش به صورت جامد باشد. پوشش غالب منطقه نیز مراتع نیمه‌استپی از جنس گون دافنه است.

#### آمار و اطلاعات استفاده شده

برای مشخص کردن محدوده حوضه و زیرحوضه‌های آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی ILWIS مرز حوضه و شبکه آبراهه‌های آن ترسیم شد. این حوضه به چهار زیرحوضه تقسیم و مساحت هر زیرحوضه محاسبه شد (جدول ۱، شکل ۱). داده‌های ورودی این تحقیق داده‌های هواشناسی و هیدرومتری شامل سری زمانی دما، بارش، تبخیر و دبی است که در مقیاس روزانه از سازمان آب منطقه‌ای استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان تهیه شد. ایستگاه‌های استفاده شده در این تحقیق دو ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه هیدرومتری است (جدول ۲). طول دوره آماری استفاده شده ۱۱ سال است که از داده‌های هشت سال برای کالیبراسیون و سه سال برای صحت‌سنجی استفاده شد. همچنین، با توجه به کوهستانی بودن منطقه و تأثیر ذوب برف، به‌منظور مدل‌سازی ذوب برف از روش شاخص دما استفاده شد.

در حالی که روش کلارک خروجی‌های منطقی‌تری ارائه می‌کند زیرا که روش کلارک ذخیره‌سازی داخل حوضه را در نظر می‌گیرد. بنابراین، از جریان کلی اوج کاسته می‌شود و به شبیه‌سازی بهتر کمک می‌کند. والگا و همکارانش [۱۱] قابلیت شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب را با استفاده از روش اشنایدر و کلارک بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد هر دو روش هیدروگراف سیلاب را به‌خوبی شبیه‌سازی کردند. برآورد دبی اوج در روش اشنایدر کمی بهتر از روش کلارک بوده است به طوری که در اختلاف بین دبی اوج هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده روش اشنایدر دبی اوج ۰/۱۱ درصد بیشتر و روش کلارک ۱/۹ درصد کمتر از دبی اوج مشاهداتی برآورد شد. اعظم و همکارانش [۱۲] در حوضه‌ای واقع در کشور کره با استفاده از مدل HEC-HMS قابلیت شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب‌ها را توسط دو روش هیدروگراف واحد کلارک و اشنایدر مقایسه کردند. نتایج محاسبه آماره‌های کارایی مدل برای این دو روش نشان داد روش کلارک در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و برآورد دبی اوج عملکرد بهتری نسبت به روش اشنایدر داشته است. در حوضه رودخانه کارون مطالعه‌ای توسط غفوری و همکارانش [۱۳] با استفاده از مدل HEC-HMS به منظور شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه کارون ۳ صورت گرفته است که در این مطالعه برای محاسبه میزان تلفات، تبدیل بارش به رواناب و جریان پایه به‌ترتیب از روش‌های احتساب‌کننده رطوبت خاک (SMA)، روش هیدروگراف واحد کلارک و مخزن خطی استفاده شده، ولی مقایسه‌ای بین روش‌های تبدیل بارش به رواناب انجام نشده است. همچنین، تا کنون در زیرحوضه ونک واقع در حوضه کارون، که یک منبع مهم آب برای بخش‌های مرکزی و غربی کشور است [۱۴] به‌طور مستقل از مدل HEC-HMS و الگوریتم‌های متنوع داخل آن استفاده نشده است. حوضه آبخیز ونک عرصه زهکش سرشاخه‌های رودخانه کارون در حوضه آبخیز بزرگ کارون شمالی محسوب می‌شود [۱۵]. اگرچه سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (HMS) در نگاه اول یک بسته نرم‌افزاری یکپارچه به نظر می‌رسد، در واقع این سیستم از مؤلفه‌های متعددی تشکیل شده است که برای هر عملکرد، نظیر تابع انتقال چندین روش را پشتیبانی می‌کند. هدف از این مطالعه، مقایسه عملکردی تابع انتقال<sup>۱</sup> یا تابع سیستم سه روش در شرایط محلی حوضه آبخیز ونک

1. Transfer function



شکل ۱. حوضه آبخیز ونک و شبکه آبراهه‌های آن

جدول ۱. مساحت زیرحوضه‌ها

شماره زیرحوضه	۱	۲	۳	۴
مساحت (Km <sup>2</sup> )	۸۴۴	۱۲۷۸	۶۲۰	۳۳۰

جدول ۲. مشخصات کلی ایستگاه‌های هواشناسی داخل حوضه و ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه

نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها				
	ارتفاع (متر)	عرض		طول	
		دقیقه	درجه	دقیقه	درجه
گندمان	۲۲۶۹	۵۱	۳۱	۱۰	۵۱
مهرگرد	۲۴۵۰	۳۴	۳۱	۳۲	۵۱
پل کره‌بس	۱۷۹۰	۳۲	۳۱	۱۲	۵۱

مدل HEC-HMS، مدل حوضه شامل سه فرایند اساسی تلفات، تبدیل بارش به رواناب و جریان پایه است. هر مؤلفه در مدل کارکرد متفاوتی از فرایند بارش - رواناب در بخشی از حوضه آبخیز و یا حوضه شناخته شده به عنوان یک زیرحوضه را ایفا می‌کند. به طور نمونه، یک مؤلفه ممکن است رواناب سطحی، کانال و یا یک مخزن باشد. هر یک از عناصر یا مؤلفه‌ها، تغییری را تعیین کرده‌اند که ویژگی خاص این مؤلفه و روابط ریاضی مرتبط با فرایندهای فیزیکی خود را توصیف می‌کند. نتیجه فرایند مدل‌سازی محاسبه هیدروگراف جریان در خروجی حوضه آبخیز است [۱۸]. از هیدروگراف‌های تولید شده توسط این مدل

#### مدل HEC-HMS

سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (HMS) یک سیستم نرم‌افزاری بر پایه سیستم طراحی شده توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده آمریکا است که HEC جایگزین برنامه HEC-1 شد و به منظور شبیه‌سازی بارش و رواناب استفاده می‌شود [۱۶]. در این مطالعه برای شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز ونک از مدل HEC-HMS نسخه ۴/۲ استفاده شد. مدل یاد شده دربرگیرنده مدل حوضه، هواشناسی، مشخصات کنترلی و داده‌های ورودی (داده‌های سری زمانی) است و به صورت ترکیبی از مؤلفه‌های قابل انتخاب توسط کاربر کار می‌کند [۱۷]. در

در آنها موجود است، در حالی که هیدروگراف آنها در دسترس نیست. بنابراین، با توجه به اهمیت هیدروگراف واحد در چنین حوضه‌هایی از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی استفاده می‌شود [۲۳]. نتایج تحقیقات صورت گرفته در مناطق مختلف در زمینه ارزیابی روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی نیز نشان داده است که تفاوت در خصوصیات حوضه‌ها سبب تغییر در تطابق روش‌های ساخت هیدروگراف واحد می‌شود [۲۴]. در این مطالعه به منظور یافتن بهترین روش تبدیل بارندگی به رواناب، سه روش هیدروگراف واحد کلارک، اشنایدر و SCS در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و ویژگی‌های آن مانند دبی اوج و حجم رواناب مقایسه شدند.

#### الف) روش هیدروگراف واحد SCS<sup>۵</sup>

یک هیدروگراف واحد ناشی از یک واحد بارش مازاد (اینچ، سانتی متر یا میلی‌متر) به صورت رواناب مستقیم بیان می‌شود و تابع مشخصه‌ای از عوامل فیزیکی مربوط به حوضه آبخیز است [۲۵]. هیدروگراف واحد می‌تواند به صورت مصنوعی و براساس این عوامل فیزیکی حوضه در مواردی که ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد، به صورت مصنوعی استخراج شود [۲۶]. پارامتر مورد نیاز روش هیدروگراف واحد SCS زمان تأخیر حوضه است که تقریباً معادل  $0.6$  زمان تمرکز حوضه است [۲۷].

#### ب) روش هیدروگراف واحد کلارک

هیدروگراف واحد کلارک روش دیگری از هیدروگراف واحد مصنوعی است. به این معنا که به یک هیدروگراف واحد از طریق تجزیه و تحلیل هیدروگراف‌های مشاهداتی گذشته نیاز ندارد [۲۸]. هیدروگراف واحد کلارک در تبدیل بارش مازاد به رواناب دو فرایند کلیدی انتقال و میرایی را در نظر می‌گیرد [۲۹]. به منظور اجرای برنامه HEC-HMS در روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، پارامترهای ورودی زمان تمرکز ( $T_c$ ) و ضریب نگهداشت (R) مورد نیاز هستند [۳۰].

#### ج) روش هیدروگراف واحد اشنایدر

مدل هیدروگراف واحد اشنایدر یک مدل تجربی از رابطه رواناب مستقیم با بارش مازاد است که در آمریکا ارائه شده است [۳۱].

می‌توان برای مسائل مختلف مهندسی منابع آب استفاده کرد. همچنین، این مدل به دلیل تنوع در روش کار مؤلفه‌ها می‌تواند برای حوضه‌های مناطق مختلف جغرافیایی استفاده شود [۱۹]. از قابلیت‌های این مدل تجزیه و تحلیل سیلاب‌های شهری، تناوب سیلاب، برنامه‌ریزی سیستم هشدار سیل، ظرفیت آبریز مخازن، تجدید جریان و غیره است [۲۰].

#### روش محاسبه میزان تلفات

به دلیل کامل‌تر بودن روش محاسبه از بین روش‌های مختلفی که در این مدل برای محاسبه میزان تلفات وجود دارد از مدل احتساب‌کننده رطوبت خاک (SMA) استفاده شد. در جدول ۳ پارامترهای مورد نیاز این روش مشاهده می‌شود. برخی از این پارامترها به صورت مستقیم در حوضه قابل اندازه‌گیری نیستند و بعد از چندین بار کالیبره کردن مدل می‌توان مقادیر این پارامترها را تخمین زد. مدل پیوسته احتساب‌کننده رطوبت خاک موجود در مدل HEC-HMS دارای قابلیت شبیه‌سازی تغییرات میزان رطوبت خاک بین رویدادهای مختلف در زمان‌های متفاوت و رفتار شرایط خشک و تر است و بیشترین اطلاعات را از وضعیت هیدرولوژیکی حوضه در اختیار ما قرار می‌دهد. از دیگر قابلیت‌های مدل احتساب‌کننده رطوبت خاک، شبیه‌سازی حرکت آب و ذخیره آن در گیاهان، سطح و عمق خاک و لایه‌های زیرزمینی است [۲۱]. الگوریتم SMA HMS نشان‌دهنده حوضه با پنج لایه ذخیره‌سازی یعنی تاج پوشش - برگاب<sup>۱</sup>، سطح - چالاب<sup>۲</sup>، پروفیل خاک<sup>۳</sup>، ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی<sup>۴</sup> (۱ و ۲) است. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود شامل ۱۲ پارامتر یعنی ذخیره برگابی، ذخیره چالاب سطحی، بیشترین سرعت نفوذ، ذخیره‌سازی خاک، ذخیره کششی، سرعت نفوذ عمقی خاک و عمق ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی ۱ و ۲، ضرایب ذخیره و سرعت‌های نفوذ عمقی است [۲۲].

#### روش تبدیل بارش به رواناب

ویژگی مشترک حوضه‌های فاقد آمار در این است که مشخصاتی مانند ویژگی‌های فیزیکی حوضه و داده‌های بارش

1. Canopy - interception
2. Surface - depression
3. Soil profile
4. Groundwater storages (1 and 2)

جدول ۳. میانگین پارامترهای واسنجی شده مدل SMA برای همه زیر حوضه‌ها

مقدار	پارامترهای مدل	مقدار	پارامترهای مدل
۳	نفوذ عمقی (mm/hr)	۷	ذخیره خاک (%)
۲۵۹	ذخیره آب زیرزمینی ۱ (mm)	۸	ذخیره آب زیرزمینی ۱ (%)
۱	نفوذ آب زیرزمینی ۱ (mm/hr)	۱۱	ذخیره آب زیرزمینی ۲ (%)
۳۰۴	روند یابی آب زیرزمینی ۱ (hr)	۱۸	بیشترین نفوذ (mm/hr)
۴۱	ذخیره آب زیرزمینی ۲ (mm)	۵	نفوذناپذیری (%)
۲	نفوذ آب زیرزمینی ۲ (mm/hr)	۳۹۴	ذخیره خاک (mm)
۲۸۸	روند یابی آب زیرزمینی ۲ (hr)	۲۳	ذخیره کششی (mm)

### جریان پایه

جریان پایه بخشی از جریان کل رودخانه است که از مجموع جریان زیرسطحی و جریان تأخیری سفره کم عمق حاصل می‌شود. به دلیل اینکه جریان پایه توسط مخزن خطی در مدل SMA شبیه‌سازی می‌شود به منظور جداسازی جریان پایه از بین روش‌های مختلفی که در این قسمت وجود دارد از روش مخزن خطی استفاده شد [۳۳].

مدل هواشناسی در این مدل شامل داده‌های بارندگی، تبخیر و تعرق و ذوب برف است که در قسمت داده‌های سری زمانی وارد می‌شوند. تاریخ و زمان شروع و پایان و فاصله زمانی بین آن نیز در مؤلفه مشخصه کنترل تعیین می‌شوند. در این مطالعه از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی گندمان و مهرگرد و ایستگاه هیدرومتری پل کره‌س برحسب مقیاس زمانی روزانه استفاده شد. بعد از تکمیل اطلاعات ورودی، مدل اجرا شد.

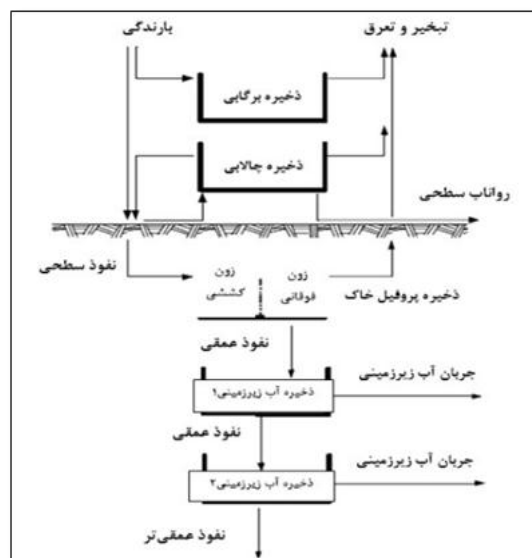
### معیارهای ارزیابی مدل

عملکرد مدل با استفاده از دو ضریب کارایی نش-ساتکلیف (ENS) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) ارزیابی شد. ضریب نش-ساتکلیف [۳۴] و ضریب تعیین [۳۵] به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$ENS = 1 - \frac{\sum (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \times 100 \quad (4)$$

$$R^2 = \left( \frac{\sum (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2 - \sum (Q_{sim} - \overline{Q_{sim}})^2}{\sum (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \right) \quad (5)$$

در روابط یاد شده ENS ضریب کارایی نش-ساتکلیف،  $R^2$  ضریب تعیین،  $Q_{obs}$  دبی مشاهداتی،  $Q_{sim}$  دبی شبیه‌سازی شده  $\overline{Q_{obs}}$  میانگین دبی مشاهداتی‌اند. ضریب تعیین ( $R^2$ ) همبستگی داده‌های شبیه‌سازی شده با



شکل ۲. الگوریتم مدل پیوسته احتساب‌کننده رطوبت خاک

[۱۹]

معادلات شنايدر عبارت‌اند از:

$$T_p = C_t (LL_c)^{-\tau} \quad (1)$$

که در آن  $T_p$  تأخیر حوضه،  $L$  طول آبراهه اصلی،  $L_c$  فاصله در امتداد آبراهه اصلی از مرکز حوضه آبخیز تا خروجی آن و  $C_t$  ضریب تأخیر هیدروگراف واحد است.

$$Q_p = 64 \cdot C_p \frac{A}{T_p} \quad (2)$$

که  $Q_p$  دبی اوج هیدروگراف واحد،  $A$  مساحت حوضه و  $C_p$  ضریب ذخیره است.

$$T_b = \tau + \frac{T_p}{\lambda} \quad (3)$$

در رابطه یاد شده  $T_b$  زمان پایه هیدروگراف است [۳۲].

داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. محدوده  $R^2$  از صفر (غیرقابل قبول) تا یک (بهترین حالت) متغیر است [۳۵]. دامنه تغییرات ضریب نش- ساتکلیف از منفی بی‌نهایت تا یک است. مقدار یک نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است و مقدار صفر نشان می‌دهد مدل قابلیت تشریح هیچ بخشی از واریانس اولیه را ندارد [۳۶].

## نتایج و بحث

### واسنجی و صحت‌سنجی مدل

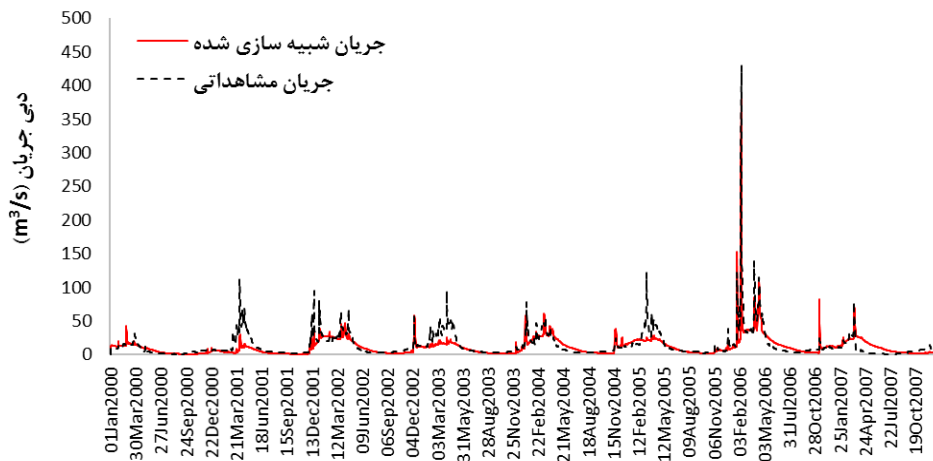
در مرحله واسنجی با مقایسه هیدروگراف شبیه‌سازی شده و هیدروگراف مشاهداتی قابلیت شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب مشاهداتی توسط مدل مشخص شد و پارامترهایی از حوضه که به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند، تخمین زده شدند. برای به‌دست‌آوردن پارامترهای بهینه از روش سعی و خطا استفاده شد. در این حالت در صورت مناسب‌نبودن نتایج، پارامترها تا جایی تغییر داده می‌شوند و مدل اجرا می‌شود که مقادیر پارامترهای حوضه به مقادیر بهینه خود نزدیک‌تر شوند. در این مطالعه به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل دوره آماری داده‌ها به دو قسمت تقسیم شد به‌طوری که هشت سال اول (۲۰۰۰-۲۰۰۷) برای واسنجی و سه سال دوم (۲۰۰۸-۲۰۱۰) برای صحت‌سنجی استفاده شد. شکل‌های ۳ و ۴ هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-HMS در دوره واسنجی و صحت‌سنجی برای سه روش هیدروگراف واحد را نشان می‌دهند. مطابق شکل ۳ زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف مشاهداتی در دوره واسنجی در تاریخ ۱۰ فوریه ۲۰۰۶ گزارش شده است. در هر سه روش زمان رسیدن به دبی اوج شبیه‌سازی تطبیق خوبی دارد. همچنین، با وجود اختلاف در برآورد دبی‌های اوج مربوط به هر رویداد، برآورد دبی اوج کل هیدروگراف در هر سه روش هیدروگراف واحد با اندکی اختلاف کمتر از مقدار مشاهداتی شبیه‌سازی شده است. به‌طوری که مقدار دبی اوج هیدروگراف مشاهداتی برابر ۴۳۰ مترمکعب بر ثانیه است و در روش‌های SCS، کلارک و اشنایدر با کمی اختلاف به‌ترتیب ۳۸۰/۹، ۴۰۴/۸ و ۳۸۹/۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. با مشاهده چشمی نتایج می‌توان گفت که روش کلارک دبی اوج را نسبت به سایر روش‌ها بهتر برآورد کرده است. شبیه‌سازی جریان در دوره صحت‌سنجی کمی دچار تأخیر بوده است به‌طوری که زمان رسیدن به دبی اوج در هیدروگراف مشاهداتی

در تاریخ یکم مارس ۲۰۰۹ است، ولی با هر سه روش هیدروگراف واحد با یک ماه تأخیر دبی به مقدار اوج خود می‌رسد. همچنین، در هر سه روش مقدار دبی اوج با اندکی کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد شده است. به‌طوری که مقدار دبی اوج هیدروگراف مشاهداتی برابر ۴۳/۲ مترمکعب بر ثانیه و در روش‌های SCS، کلارک و اشنایدر به‌ترتیب ۳۳/۲، ۳۸/۲ و ۳۶/۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. بنابراین، در دوره صحت‌سنجی عملکرد روش کلارک در برآورد دبی اوج نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر بوده است (شکل ۴). در مجموع، می‌توان گفت که هیدروگراف سیلاب شبیه‌سازی شده توسط هر سه روش تقریباً نزدیک به هم بوده است، بنابراین شاخص آماری کارایی (جدول ۴) بهتر گویای شبیه‌سازی هستند.

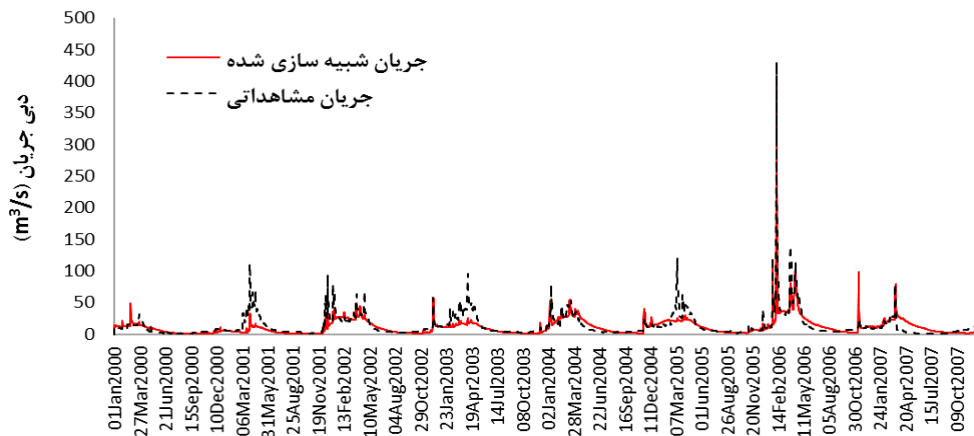
با در نظر گرفتن تابع هدف، پارامترهای مدل به‌صورت دستی و با استفاده از روش سعی و خطا واسنجی شد. با توجه به جدول ۴ ضریب نش- ساتکلیف در روش‌های هیدروگراف واحد کلارک، اشنایدر و SCS در دوره واسنجی به‌ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۸ و ۰/۶۹ و در دوره صحت‌سنجی به‌ترتیب ۰/۶۷، ۰/۶۶ و ۰/۶۶ به دست آمد. همچنین، ضریب تعیین ۰/۶۹، ۰/۶۹ و ۰/۷ در دوره واسنجی و ۰/۷۲، ۰/۷۱ و ۰/۷۱ در دوره صحت‌سنجی به‌ترتیب برای روش‌های کلارک، اشنایدر و SCS نشان می‌دهد همه روش‌ها با دقت نسبتاً خوبی دبی سیلاب را شبیه‌سازی می‌کنند.

### مقایسه سه روش هیدروگراف واحد در شبیه‌سازی ویژگی‌های هیدروگراف سیلاب

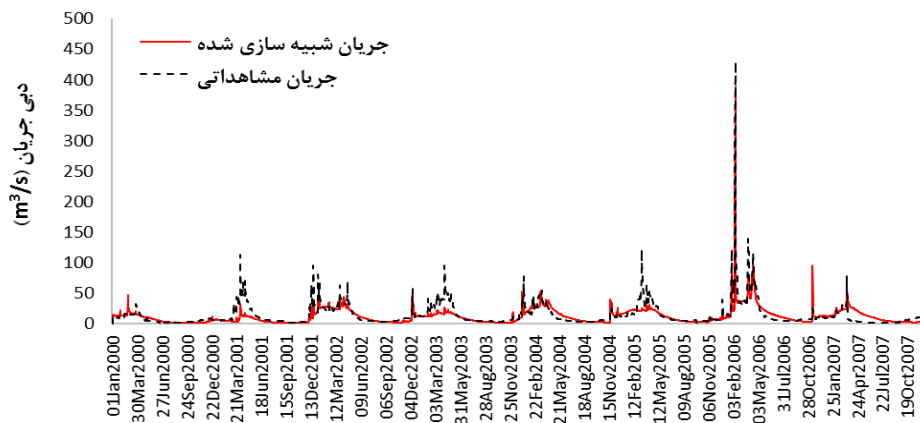
برای شناخت پارامترهای حساس در این مطالعه میزان حساسیت پارامترهای زمان تمرکز، ضریب ذخیره، زمان تأخیر استاندارد، ضریب اوج و زمان تأخیر در روش‌های کلارک، اشنایدر و SCS نسبت به تابع هدف و دبی اوج تخمین زده شد. در محاسبه میزان حساسیت از حد بالا و پایین پارامترهای انتخابی استفاده شد. نتایج نشان داد تغییر این پارامترها بر تابع هدف و دبی اوج تأثیر بسیار کمی دارد و برخی پارامترها تأثیر محسوسی ایجاد نمی‌کنند. طبق جدول ۵، میزان حساسیت پارامترها نسبت به دبی اوج و تابع هدف بسیار کم و بیشترین میزان آن مربوط به تأثیر پارامتر ضریب اوج بر روی دبی اوج در روش اشنایدر برابر با ۱/۴- بود.



(الف)



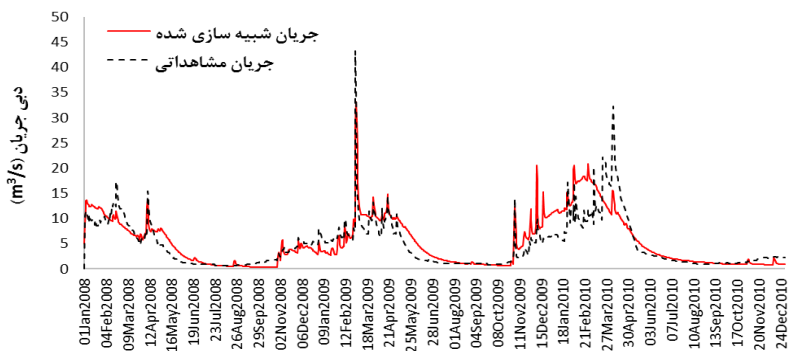
(ب)



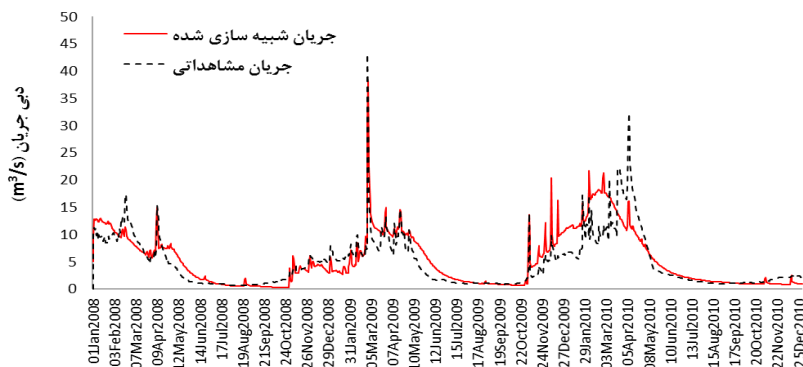
(ج)

شکل ۳. هیدروگراف سیلاب مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده در روش‌های هیدروگراف واحد (الف) SCS (ب) کلارک (ج) اشتایدر در دوره واسنجی ۲۰۰۰-۲۰۰۷

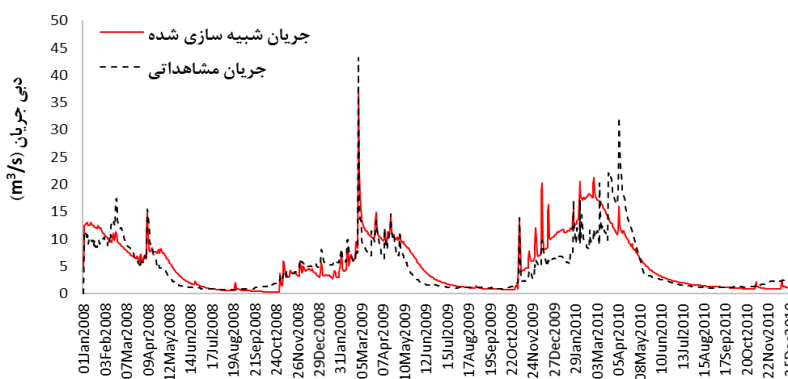




(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴. هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در روش‌های هیدروگراف واحد (الف) SCS (ب) کلارک (ج) اشنايدر در دوره صحت‌سنجی ۲۰۰۸-۲۰۱۰

جدول ۴. معیارهای آماری نکویی برازش برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی

دوره صحت‌سنجی	دوره واسنجی	روش	معیارهای آماری نکویی برازش
۰/۶۷	۰/۶۸	کلارک	ENS
۰/۷۲	۰/۶۹		R <sup>2</sup>
۰/۶۶	۰/۶۸	اشنايدر	ENS
۰/۷۱	۰/۶۹		R <sup>2</sup>
۰/۶۶	۰/۶۹	SCS	ENS
۰/۷۱	۰/۷		R <sup>2</sup>

جدول ۵. حساسیت پارامترهای انتخابی نسبت به تابع هدف و دبی اوج

روش	پارامتر	زیرحوضه ۱		زیرحوضه ۲		زیرحوضه ۳		زیرحوضه ۴	
		دبی اوج	تابع هدف	دبی اوج	تابع هدف	دبی اوج	تابع هدف	دبی اوج	تابع هدف
	زمان تمرکز	۰	۰/۰۵	۰	۰	۰	-۰/۰۱	۰	۰
کلارک	ضریب ذخیره	-۰/۰۸	۰/۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	زمان تأخیر استاندارد	۰	-۰/۵۶	-۰/۰۱	۰	۰	-۰/۰۱	۰	۰/۰۲
اشنایدر	ضریب اوج	-۱/۴	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۸	۰	۰/۰۱	۰/۱۳
SCS	زمان تأخیر	۰	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۳۸	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰	۰

هیدروگراف واحد و در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد شده است. با این حال، کمترین میزان درصد اختلاف بین دبی اوج هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی برابر ۵/۸۶ درصد و در دوره صحت‌سنجی برابر ۱۱/۵۷ درصد و مربوط به روش هیدروگراف واحد کلارک بود (جدول‌های ۶ و ۷). این نشان می‌دهد حجم رواناب برآوردی در هر سه روش تقریباً نزدیک است، اما دبی اوج هیدروگراف سیلاب در روش کلارک نسبت به سایر روش‌ها با خطای کمتری برآورد شده است.

بهم‌منظور مقایسه کارایی روش‌های انتقال در این مطالعه ویژگی‌های هیدروگراف سیلاب شامل دبی اوج و حجم رواناب در هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی مقایسه شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده حجم رواناب در هر سه روش هیدروگراف واحد در دوره واسنجی کمتر و در دوره صحت‌سنجی بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد شده است و درصد اختلاف بین حجم رواناب هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در هر سه روش بسیار نزدیک و حدود ۱۵/۳۰ درصد در دوره واسنجی و ۱۰/۴۵ درصد در دوره صحت‌سنجی بود. همچنین، دبی اوج در هر سه روش

جدول ۶. ارزیابی درصد اختلاف بین حجم رواناب (MM) و دبی اوج ( $m^3/s$ ) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سه روش اشنایدر، کلارک و SCS در دوره واسنجی

روش	حجم رواناب مشاهداتی	دبی اوج مشاهداتی	حجم رواناب محاسباتی	دبی اوج محاسباتی	درصد اختلاف بین حجم رواناب مشاهداتی و محاسباتی	درصد اختلاف بین دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی
اشنایدر	۱۲۴۶/۲۵	۴۳۰	۱۰۵۵/۶۱	۳۸۹/۵	۱۵/۳۰	۹/۴۲
کلارک	۱۲۴۶/۲۵	۴۳۰	۱۰۵۵/۶۲	۴۰۴/۸	۱۵/۳۰	۵/۸۶
SCS	۱۲۴۶/۲۵	۴۳۰	۱۰۵۵/۶۳	۳۸۰/۹	۱۵/۳۰	۱۱/۴۲

جدول ۷. ارزیابی درصد اختلاف بین حجم رواناب (MM) و دبی اوج ( $m^3/s$ ) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سه روش اشنایدر، کلارک و SCS در دوره صحت‌سنجی

روش	حجم رواناب مشاهداتی	دبی اوج مشاهداتی	حجم رواناب محاسباتی	دبی اوج محاسباتی	درصد اختلاف بین حجم رواناب مشاهداتی و محاسباتی	درصد اختلاف بین دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی
اشنایدر	۱۶۵/۲۷	۴۳/۲	۱۸۲/۵۴	۳۶/۵	-۱۰/۴۵	۱۵/۵۱
کلارک	۱۶۵/۲۷	۴۳/۲	۱۸۲/۵۴	۳۸/۲	-۱۰/۴۵	۱۱/۵۷
SCS	۱۶۵/۲۷	۴۳/۲	۱۸۲/۵۴	۳۳/۲	-۱۰/۴۵	۲۳/۱۵

## نتیجه‌گیری

هرچند در کل هر سه روش هیدروگراف واحد کلارک، اشنایدر و SCS به‌ترتیب با ضرایب نش-ساتکلیف ۰/۶۸، ۰/۶۸ و ۰/۶۹ برای دوره واسنجی و ۰/۶۷، ۰/۶۶ و ۰/۶۶ برای دوره

طبق نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق مدل کلارک درباره دبی اوج حوضه آبخیز مطالعه‌شده، برآورد بهتری داشته است

شماره منحنی شیب را در نظر نمی‌گیرد، در برآورد دبی اوج عملکرد روش کلارک بهتر بوده است. در تحقیق غفوری و همکارانش [۱۳] در حوضه رودخانه کارون ۳ نیز برای محاسبه میزان تلفات، تبدیل بارش به رواناب و جریان پایه به ترتیب از روش‌های احتساب‌کننده رطوبت خاک (SMA)، روش هیدروگراف واحد کلارک و مخزن خطی استفاده شد و نتیجه رضایت‌بخشی از این ترکیب حاصل شد. حوضه آبخیز ونک از زیرحوضه‌های واقع در حوضه کارون است و نتایجی که حاصل شد با نتایج غفوری و همکارانش [۱۳] در حوضه کارون ۳ هم‌خوانی دارد. اگرچه در برآورد دبی اوج، عملکرد روش کلارک با درصد اختلاف ۵/۸۶ درصد بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در دوره واسنجی و ۱۱/۵۷ درصد در دوره صحت‌سنجی کمی بهتر از سایر روش‌ها بوده است با این حال در سایر موارد، اختلاف بین نتایج هر سه روش چندان زیاد نیست. از طرفی، آنالیز حساسیت مدل به پارامترهای هر سه روش نیز نشان داد میزان حساسیت پارامترها نسبت به دبی اوج و تابع هدف بسیار کم است. بنابراین، عملکرد هر سه روش هیدروگراف واحد در شبیه‌سازی رواناب حوضه نسبتاً خوب بوده است. به منظور بررسی مدل در حوضه‌های با شرایط اقلیمی متفاوت توصیه می‌شود این مدل در بازه‌های زمانی مختلف اجرا و مقایسه شود. همچنین، توصیه می‌شود این سه روش هیدروگراف واحد با ترکیب متفاوت از روش‌های تلفات و جریان پایه نیز بررسی شوند. در هر حال، در شرایط در دسترس نبودن داده، توابع انتقال ساده مانند روش‌های بررسی شده، می‌توانند گزینه‌های جذابی محسوب شوند.

#### منابع

- [1]. Teimoori Moghadam AR, Rahnama GhA, Ahmadian M. Calibration of hydrological HEC-HMS model in rainfall-runoff simulation for Mahidasht catchment. The National Conference on Water Crisis Management. Islamic Azad University of Marvdasht. 2009. [Persian].
- [2]. Chu X, ASCE AM, Steinman A. Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 2009; (135): 119-124.
- [3]. Nastiti KD, Kim Y, Jang K, An H. The application of Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model for inundation case in upper Citarum Watershed, West Java-Indonesia. Procedia Engineering. 2015; (125): 166-172.

صحت‌سنجی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب عملکرد نسبتاً خوبی داشته‌اند و درصد اختلاف حجم رواناب در هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در هر سه روش بسیار نزدیک به هم بوده، ولی در برآورد دبی اوج هیدروگراف واحد کلارک نسبت به سایر روش‌ها نسبتاً بهتر بوده است. نتایج این مطالعه در گزارش کارایی بیشتر هیدروگراف واحد کلارک با نتایج کار برخی محققان هم‌خوانی دارد. از جمله تحقیق آخوندعلی و سیدکابلی [۹] در حوضه آبخیز کسلیان که به برتری روش کلارک نسبت به روش SCS در برآورد دبی اوج منجر شد و علت این امر را این‌طور بیان کردند که روش کلارک، روش براساس مفاهیم مدل مخزن خطی بوده، ولی روش SCS به سبب متکی بودن به روابط تجربی به واسنجی بسیار وابسته است. بنابراین، خطای چنین روش‌هایی بیشتر است. همچنین، ماسون [۱۰] در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که روش کلارک نسبت به روش SCS خروجی‌های منطقی‌تری ارائه می‌کند و از آنجا که روش کلارک ذخیره‌سازی داخل حوضه را در نظر می‌گیرد، از جریان کلی اوج کاسته می‌شود و به شبیه‌سازی بهتر رقوم سطح آب کمک می‌کند. در مطالعه اعظم و همکارانش [۱۲] نیز نتایج محاسبه آماره‌های NOF، PEP و NSE برای روش‌های کلارک و اشنایدر نشان داد روش کلارک در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و برآورد دبی اوج عملکرد بهتری نسبت به روش اشنایدر داشته است. در مطالعاتی مانند کریمی و همکارانش [۷] و چیداز و همکارانش [۸] با مقایسه‌ای که بین سه روش هیدروگراف واحد کلارک، اشنایدر و SCS صورت گرفت روش SCS در شبیه‌سازی دبی اوج کمترین میزان خطا را داشت و به عنوان روش مناسب انتخاب شد. جدای از اختلاف شرایط محلی ممکن است دلیل این امر انتخاب روش شماره منحنی به عنوان روش تلفات در این مطالعات بوده باشد. به نظر می‌رسد با انتخاب روش تلفات شماره منحنی SCS هم‌زمان با روش تبدیل بارش به رواناب هیدروگراف واحد SCS ترکیب مناسبی به نظر می‌آیند. از طرف دیگر، با ترکیب روش تلفات SMA با روش تبدیل هیدروگراف واحد کلارک نتیجه رضایت‌بخشی حاصل می‌شود. از آنجا که مفاهیم بنیادی مدل‌های مفهومی با هم تفاوت دارد، ساده‌سازی‌های انجام شده در سیستم سبب اختلاف در نتایج می‌شود. یک شکل کاربرد مقایسه حاضر در استخراج هیدروگراف برای حوضه‌های فاقد آمار است که شرایط طبیعی نزدیکی به حوضه مطالعه شده دارند. به نظر می‌رسد چون روش

- [4]. Neshat A, and Sedghi H. Runoff Estimation in Bagh Malek Watershed (Khozestan) Using SCS Method and HEC-HMS Model. Journal Agricultural Sciences. Islamic Azad University. 2006; 12(4). [Persian].
- [5]. Arekhi S. Runoff modeling by HEC-HMS Model (Case Study: Kan watershed, Iran). International Journal of Agriculture and Crop Science. 2012; 4(23): 1807-1811.
- [6]. Wang M, Zhang L, Baddoo TD. Hydrological Modeling in A Semi-Arid Region Using HEC-HMS. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering. 2016; 5(3): 105-115.
- [7]. Karimi M, Maleki Nezhad H, Abghari H, Azizian MS. Assessment of Different Methods for Flood Hydrograph Simulation using HEC-HMS package (Case study: watershed Chehelgazi). Iranian Water Research Journal. 2011; 5(9): 29-38. [Persian].
- [8]. Chidaz A, Saravi MM, Vafakhah M. Evaluating the HEC-HMS Model for Estimating Flood Hydrograph in Kasilian Basin. Watershed Management Researches (Pajouhesh and Sazandegi). 2009; (84): 59-71. [Persian].
- [9]. Akhond-Ali AM, and Seyyed Kaboli H. Evaluation of SCS and Clark Unit Hydrograph Methods to Simulate Flood Events in Kasilian Basin. Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering Iran, Karaj, Iran Watershed Association. 2009. [Persian].
- [10]. Mason JI. Analysis of major hydrologic events in ascension parish, la. Thesis of Department of Civil and Environmental Engineering. 2011.
- [11]. Walega A, Grzebinoga M, Paluszkiwicz B. On using the Snyder and Clark unit hydrograph for calculations of flood waves in a highland catchment (The Grabinka River Example). ACTA Scientiarum Polonorum. 2011; 10(2): 47-56.
- [12]. Azam M, Kim HS, Maeng SJ. Development of flood alert application in Mushim stream watershed Korea. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2017; 21: 11-26.
- [13]. Ghafouri MR, Taheri Shahraiyni H, Saghafian B. Modeling of Continuous Daily Runoff for Karoon River using SMA Loss Function. Iran-Water Resources Research. 2013; 9(2): 73-77. [Persian].
- [14]. Rostamian R, Jaleh A, Afyuni M, Mousavi F, Heidarpour M, Jalalian A, Abbaspour K. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Hydrological Sciences Journal. 2008; 53(5): 977-988.
- [15]. Agriculture and Regional Development Consulting Engineers, A Feasibility and Management Study on Renewable Resources of Vanak Basin. 2003. [Persian].
- [16]. Gautam NP. Flow routing with Semi-distributed hydrological model HEC-HMS in case of Narayani River Basin. Journal of Institute Of Engineering. 2014; 10(1): 45-58.
- [17]. Khoi DN. Comparison of the HEC-HMS and SWAT hydrological models in simulating the stream flow. Journal of Science and Technology. 2016; 53 (5A): 189-195.
- [18]. Oleyiblo JO, and Li Z. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misaiand Wan'an catchments in China. Water Science and Engineering. 2010; 3(1): 14-22.
- [19]. Reshma T, Venkata Reddy K, Deva P. Simulation of Event Based Runoff Using HEC-HMS model for an Experimental Watershed. International Journal of Hydraulic Engineering. 2013; 2(2): 28-33.
- [20]. Halwatura D, and Najim MMM. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. Environmental Modelling and Software. 2013; 46: 155-162.
- [21]. Yousefi Mobarhan E, Farahmand N, Fahim N, Fahim E. Efficiency of Flow Duration Curves Method for Verification of a Hydrological Model (Case Study: Zola-Chay Watershed). Journal of Soil and Water. 2016; 26(2): 101-113. [Persian].
- [22]. Roy D, Begam S, Ghosh S, Jana S. Calibration and validation of HEC-HMS model for a river basin in Eastern India. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2013; 8(1).
- [23]. Mobaraki J, Mohammadi Y, Abghari H. Evaluation the impact The effect of excess rainfall duration on the efficiency of Snyder unit-hydrograph in Ename watershed. Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Karaj, Iranian Watershed Association. 2009. [Persian].
- [24]. Barkhordari J, Telvari A, Ghiassi N, Rastegar H. A study on ability of uses and assessment of synthetic unit hydrograph in flood estimation in Sikhoran watershed, Hormozgan province. Pajouhesh and Sazandegi. 2006; 19(2): 57-65. [Persian].

- [25]. Curtis Weaver J. Methods for Estimating Peak Discharges and Unit Hydrographs for Streams in the City of Charlotte and Mecklenburg County, North Carolina. Water Resources Investigations Report 03-4108. 2003; p55.
- [26]. Majidi A, Moradi M, Vagharfard H, Purjenaie A. Evaluation of Synthetic Unit Hydrograph (SCS) and Rational Methods in Peak Flow Estimation (Case Study: Khoshehaye Zarrin Watershed, Iran). International Journal of Hydraulic Engineering. 2012. 1(5): 43-47.
- [27]. Choudhari K, Panigrahi B, Chandra P. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. International Journal of Geomatics and Geosciences. 2014; 5(2).
- [28]. US Army Corps of Engineers. Hydrologic modeling system HEC-HMS: User's Manuals version 4.2. Hydrologic Engineering Center. 2016.
- [29]. Cunderlik J, and Simonovic SP. Calibration, Verification and Sensitivity Analysis of the HEC-HMS hydrologic model CFCAS Project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Condition: Water Resources Research Report. Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions. Project Report IV. 2004.
- [30]. Walega A. Application of HEC-HMS programme for thereconstruction of a flood event in an uncontrolledbasin. Journal of Water and Land Development. 2013; 18(I-VI): 13-20.
- [31]. Yao C, Chang L, Ding J, Li Z, An D. Evaluation of the effects of underlying surface change oncatchment hydrological response using the HEC-HMS model. Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water Society Interactions Proceedings of ICWRS. 2014; IAHS Publ. 364.
- [32]. Khaleghi MR, Gholami V, Ghodusi J, Hosseini H. Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in flood hydrograph simulation. Catena. 2011; 87: 163-171.
- [33]. Yousef Mobarhan E, Abghari M, Erfanian M. Investigation and Calibration of Hydrological Parameters of HMS-SMA at Different Time Scales for rainfall-runoff Modeling. Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi). 2013; (101): 79-87. [Persian].
- [34]. Nash JE, Sutcliffe JV. River flow forecasting through conceptual models 1: a discussion of principles, Journal of Hydrology, 1979; 10: 282-290.
- [35]. Sintayehu LG. Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin. Hydrology: Current Research. 2015; 6(2).
- [36]. Mathevet T, Michel C, Andreassian V, Perrin C. A bounded version of the Nash-Sutcliffe criterion for better model assessment on large sets of basins. Large Sample Basin Experiments for Hydrological Model Parameterization: Results of the Model Parameter Experiment-MOPEX. 2006; IAHS Publ. 307.