بررسی کارآیی روش زمان-سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در برآورد دبی سیلاب

مرتضی دهقانی[1]، کارشناس پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
علی کرمی‌خانیکی، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
سیدحمیدرضا صادقی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۱/۰۳ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۴/۱۷

چکیده

یکی از اهداف مهم مطالعات هیدرولوژی، پیش‌بینی کمی فرآیند بارش-رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی و در نهایت تعیین میزان دبی خروجی حوزه است. هدف تحقیق حاضر بررسی دقت، صحت و اعتبار روش‌های زمان-سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در برآورد هیدروگراف سیلاب از نظر شکل، دبی اوج، زمان تا اوج، زمان پایه و حجم هیدروگراف در هر رگبار با شدت و مدت معین است. برای این منظور ابتدا با استفاده از نرم‌افزار R2V نقشه توپوگرافی حوزه آبخیز بازفت رقومی گردید. سپس با نرم‌افزار ILWIS نقشه DEM، خطوط هم‌زمان تمرکز و مرکز ثقل حوزه به‌دست آمد. با داده‌های باران‌نگار و انتخاب رگبار مناسب، هیدروگراف سیل مربوط به شش رگبار انتخابی با روش‌های زمان-سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک برآورد و نتایج با هیدروگراف ثبت شده در انتهای حوزه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که اگر چه نتایج هر دو روش برای محاسبه هیدروگراف خروجی با خطا همراه است، ولی در مجموع می‌توان گفت که روش کلارک نتایج بهتری نسبت به روش زمان-سطح ارائه می‌کند. به‌طوری‌که میزان خطای نسبی در اوج سیلاب برای روش کلارک و روش زمان-سطح به‌ترتیب ۲۳/۳ و ۳۲/۸ درصد است.

واژه‌های کلیدی: باران‌نگار، بارش-رواناب، برآورد سیل، حوزه آبخیز بازفت، هیدرولوژی

مقدمه

به‌دلیل کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری و بالا بودن هزینه ساخت و نگه‌داری آن، اطلاعات کافی در مورد هیدروگراف سیل و دبی جریان رودخانه در اکثر حوزه‌های ایران وجود ندارد. از طرفی در کارهای مهندسی منابع آب و ساماندهی رودخانه، تعیین دبی سیلاب امری بسیار ضروری است.

مدل‌های بارش-رواناب، از روش‌هایی هستند که قادر به پیش‌بینی و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب ناشی از هر بارش می‌باشند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به هیدروگراف واحد[2]، هیدروگراف واحد لحظه‌ای[3]، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی[4] و روش زمان-سطح[5] اشاره کرد. این مدل‌ها بر اساس پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژیکی، دبی سیلاب را محاسبه می‌کنند.

[1] نویسنده مسئول mdehghani_uni@yahoo.com

[2] Unit Hydrograph
[3] Instantaneous Unit Hydrograph
[4] Geomorphology Instantaneous Unit Hydrograph
[5] Time Area Method

از مهم‌ترین قدم‌هایی که در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژی و تهیه هیدروگراف سیل طرح برداشته شده است، استفاده از هیدروگراف واحد است که اولین بار به‌وسیله شرمن پیشنهاد شد. تهیه هیدروگراف واحد حوزه، برای تداوم‌های مختلف از اقدامات اساسی در هیدرولوژی می‌باشد (Mc Carhy، ۱۹۳۸). تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای در سال ۱۹۳۰ به‌وسیله کمیته مهندسی بوستون ارائه گردید و بیان‌گر توزیع رواناب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد است که به‌طور لحظه‌ای و آنی در حوزه آبخیز اتفاق افتاده باشد. این هیدروگراف، یک هیدروگراف تک اوجی است و مقدار آن برای هر حوزه واحد است (علیزاده، ۱۳۸۲; Ramirez، ۲۰۰۰). هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای هر حوزه منحصر به‌فرد بوده و شناسنامه آن حوزه محسوب می‌شود. این هیدروگراف فقط با داشتن خصوصیات فیزیوگرافیکی و ژئومرفولوژیکی حوزه (بدون نیاز به اطلاعات مربوط به بارندگی و مستقل از زمان) تعیین می‌شود و با کم‌ترین داده اولیه قادر به پیش‌بینی هیدروگراف سیل با دقت قابل قبول است (علیزاده، ۱۳۸۲).

مدل زمان-سطح تکامل یافته روش استدلالی[1] است که به‌وسیله Lioyd-Davis ارائه گردید، در این مدل شدت بارندگی متغیر و مساحت محاسباتی مربوط به مساحت بین دو خط هم‌زمان تمرکز می‌باشد (Singh، ۱۹۸۸). مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک حوزه را به‌عنوان یک مخزن فرضی با ویژگی‌های مشابه ذخیره حوزه، در نظر می‌گیرد و با استفاده از روش روندیابی ماسکینگام هیدروگراف ورودی را روندیابی می‌کند (Singh، ۱۹۸۸). از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در تحقیقی، Clark (۱۹۴۵)، عرض هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به‌عنوان یک پاسخ ژئومرفولوژیکی حوزه و متناسب با منحنی تمرکز زمان-مساحت قلمداد نمود. Nash (۱۹۵۷)، گشتاور اول و دوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای را با برخی ویژگی‌های ژئومرفولوژیکی حوزه‌های آبخیز انگلستان مرتبط کرد و این روش را برای تعیین هیدروگراف واحد حوزه مناسب ارزیابی نمود. در استرالیا Snell و Sivapalan (۱۹۹۴)، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی به‌دست آمده از قوانین هورتن و استراهلر را با روش تابع عرض مقایسه نمودند و روش تابع عرض را شاخص بهتری برای واکنش حوزه دانستند. Maidment (۱۹۹۳) مدلی توزیعی را بر اساس روش زمان-سطح و مدل رقومی ارتفاع بنا نهاد. Muzic (۱۹۹۵) مشابه کار Maidment را انجام داد، نمونه‌ای از این روش در مدل کامپیوتری HMS مورد استفاده قرار گرفته است. Singh (۱۹۹۷)، معتقد است که تولید رواناب به عوامل متعددی از جمله خصوصیات حوزه، دینامیک بارش، تراوایی خاک و رطوبت پیشین بستگی دارد، وی بیان می‌کند که رطوبت پیشین در رواناب تاثیر زیادی دارد. Fong Lin و Wang (۱۹۹۸)، پیشنهاد کردند که در استفاده از روش IUH از تکنیک‌های سنجش از دور استفاده شود، ایشان ثابت کردند که استفاده از شبکه آبراهه فرعی در این مدل‌ها اختلاف معنی‌داری نسبت به مدل Valdes و Rodrigue که فقط رودخانه اصلی را مد نظر دارد، به‌وجود می‌آورد.

در تحقیقی، Jain و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از ترکیب مدل کلارک و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی به‌وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی دریافتند که حساسیت دبی حداکثر به تغییرات الگوی بارش زیاد است. Saghafian و همکاران (۲۰۰۲) روش جدیدی را بر پایه استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع و تکنیک زمان-سطح برای مدل‌سازی توزیعی توسعه دادند. Raymond و Jeng (۲۰۰۳) با حل معادله موج سینماتیک با استفاده از تابع توزیع گاما و مفهوم مخازن خطی، هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به‌دست آوردند و آن را تابع PKW-IUH[2] نامیدند.

رحیمیان (۱۳۷۴) هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی را در حوزه پس‌کوهک شیراز مورد آزمایش قرار داد. وی نتیجه گرفت که روش‌های SCS و اشنایدر مثلثی با هیدروگراف مشاهده‌ای مطابقت بیش‌تری دارد. در تحقیق دیگری غیاثی (۱۳۷۴) در شش مورد هیدروگراف تهیه شده به‌روش مشابه برای حوزه معرف امامه، به نتیجه معکوسی نسبت به رحیمیان رسید و نشان‌داد که هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی کارآیی مناسب‌تری نسبت به‌روش اشنایدر ندارد. قهرمان (۱۳۷۴) در حوزه معرف کسیلیان در اقلیم شمال کشور مدل فوق را نسبت به مدل ژئومورفوکلیماتیک دارای کارآیی کم‌تری یافت. روغنی (۱۳۷۶) با کالیبره نمودن یک مدل روندیابی رواناب با استفاده از

[5] Rational Method
[6] Pseudo Kinematics Wave Instantaneous Unit Hydrograph

سطوح هم‌زمان تمرکز و همچنین نحوه قرار گرفتن این سطوح در کل حوزه میزان تاثیر این سطوح را در دبی اوج مورد بررسی قرار داد. وی نتیجه گرفت که سطوح مختلف حوزه نقش متفاوتی در دبی خروجی حوزه ایفا می‌کنند. عرفانیان (۱۳۷۷) با بررسی‌های خود در حوزه جزین سمنان با استفاده از شاخص آماری مجموع مربعات خطا، ترتیب کارآیی مدل‌ها را به‌صورت Nash، S.C.S ،GIUH با توزیع گاما، GcIUH و GIUH مثلثی ارائه نموده است. عبدالهی (۱۳۸۱) بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز خان‌میرزا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و بررسی ۴ رگبار بارش به این نتیجه رسید که هیدروگراف مشاهده‌ای در اغلب موارد دبی اوج بیش‌تری نسبت به مقادیر برآورد شده از مدل دارد و از نظر زمان تا اوج نیز هیدروگراف طبیعی، زمان تا اوج طولانی‌تری دارد.

Cleveland و همکاران (۲۰۰۶) داده‌های بیش از ۱۶۰۰ بارندگی را در ۹۱ ایستگاه در تگزاس را به‌منظور ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای مورد بررسی قرار دادند. این مدل با داده‌های مشاهده‌ای واسنجی شده و سپس با مدل‌های NRCS و Rayleigh مقایسه شد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که هر دو مدل NRCS و Rayleigh نتایج یک‌سانی را نشان دادند ولی در صورت نیاز به مدلی پیوسته، مدل Rayleigh جای‌گزین مناسبی برای مدل NRCS خواهد بود.

مصطفی زاده و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی در حوضه جعفرآباد استان گلستان نقشه هم‌زمان تمرکز و هیستوگرام زمان-مساحت آبخیز در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی تهیه و سپس هیدروگراف واحد لحظه‌ای را با مدل کلارک برای آبخیز مذکور شبیه‌سازی نمودند. هیدروگراف رواناب مستقیم برای شش رگبار بارش با استفاده از مدل یاد شده شبیه‌سازی، و آنالیز حساسیت مدل با دو پارامتر زمان تمرکز و ضریب ذخیره در مدل کلارک انجام شد. دقت و کارآیی مدل یاد شده در برآورد هیدروگراف رواناب سطحی با شاخص‌های ناش-ساتکلیف و میانگین خطای نسبی در دبی اوج، خطای نسبی در زمان تا اوج و خطای نسبی حجم جریان و مجموع مربعات خطا با داده‌های ثبت شده مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش، مدل کلارک فقط پارامتر زمان تا اوج و دبی اوج را با دقت قابل قبولی برآورد نمود و در شبیه‌سازی سایر مؤلفه‌های هیدروگراف سیل موفق نبوده است.

در تحقیق حاضر سعی شده است که دقت، صحت و اطمینان مدل‌های زمان-سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در تعیین شکل و ابعاد هیدروگراف سیل بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

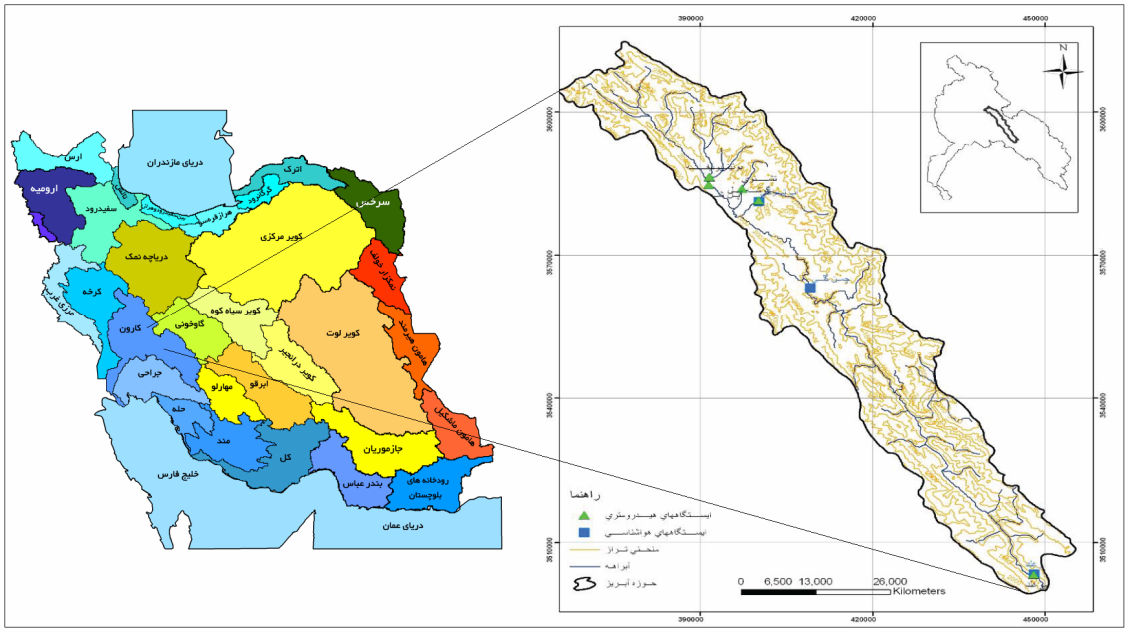
حوزه مورد مطالعه با توجه به معیارهای زیر انتخاب گردید.

۱. حوزه مورد نظر در خروجی خود دارای ایستگاه هیدرومتری مجهز به لیمینوگراف باشد و از طرفی ایستگاه مورد نظر در مناطق دشتی واقع نشده باشد. زیرا هدررفت و برداشت آب در مناطق دشتی زیاد است و هیدروگراف‌های حاصل (مشاهده‌ای) نمی‌تواند بیان‌گر دبی واقعی باشند.
۲. سد یا بند انحرافی در بالادست ایستگاه هیدرومتری موجود نباشد، زیرا وجود سد باعث ذخیره موقت آب و کاهش دبی اوج شده و در نتیجه شیب شاخه نزولی هیدروگراف کاهش یافته و زمان پایه هیدروگراف طولانی‌تر می‌شود. لذا هیدروگراف خروجی چنین حوزه‌هایی، معرف خصوصیات واقعی حوزه نخواهد بود.
۳. ایستگاه هیدرومتری مورد نظر دارای سیلاب‌های ثبت شده مناسب باشد و دست‌رسی به آمار و گراف‌های مربوطه امکان‌پذیر باشد.

با توجه به شرایط فوق، در نهایت حوزه آبخیز بازفت از زیر حوزه‌های اصلی کارون، واقع در استان چهار محال و بختیاری با مساحت ۲۱۱۱/۴ کیلومترمربع برای این تحقیق انتخاب شد. حداکثر ارتفاع این حوزه ۴۰۱۸ متر و کمینه آن ۸۶۰ متر از سطح دریا است. شکل ۱، موقعیت حوزه کارون و زیر حوزه بازفت را نشان می‌دهد.

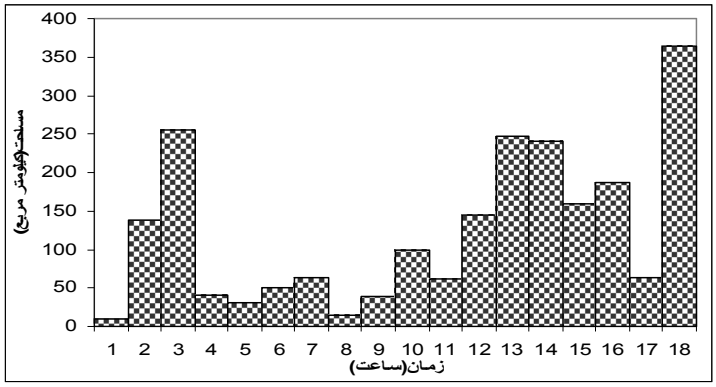
روش تحقیق

انجام تحقیق حاضر شامل مراحل گردآوری اطلاعات بارش-رواناب، استخراج هیدروگراف زمان-سطح حوزه با استفاده از GIS، استخراج هیدروگراف تخمینی مدل زمان-سطح، استخراج هیدروگراف تخمینی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک با استفاده از روش گرافیکی برای تعیین پارامتر K، معادله ماسکینگام و ارزیابی نتایج به‌دست آمده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه کارون، زیر حوزه بازفت و ایستگاه‌های مورد استفاده

نقشه توپوگرافی حوزه با استفاده از محیط نرم‌افزار R2V وILWIS رقومی گردید، سپس با استفاده از نقشه به‌دست آمده نقشه مدل رقومی ارتفاع[1] با اندازه پیکسل برابر با ۳۰ متر به‌دست آمد. منحنی‌های هم‌زمان تمرکز با استفاده از نقشه DEM و فرمول California برای هر یک ساعت محاسبه گردید و با استفاده از منحنی‌های به‌دست آمده، نمودار زمان-سطح برای حوزه بازفت مطابق شکل ۲ به‌دست آمد.



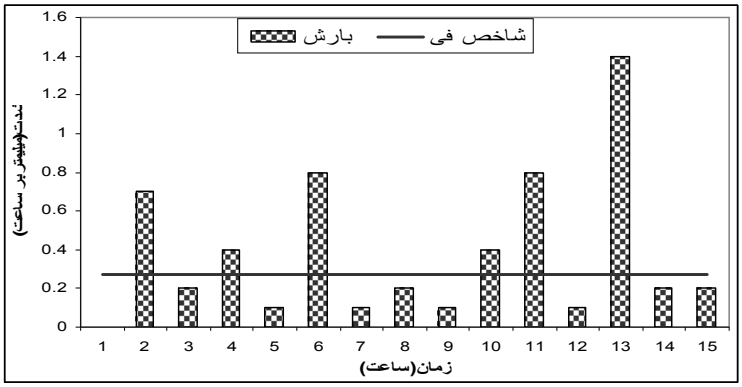
شکل ۲- نمودار زمان- سطح حوزه

برای تعیین مرکز ثقل حوزه، نقاط مختلفی روی محیط حوزه انتخاب و با توجه به طول و عرض آن‌ها مرکز ثقل حوزه تعیین شد. نقطه به‌دست آمده دارای طول ۵۰ درجه و ۴ دقیقه خاوری و عرض ۳۲ درجه و ۸ دقیقه شمالی

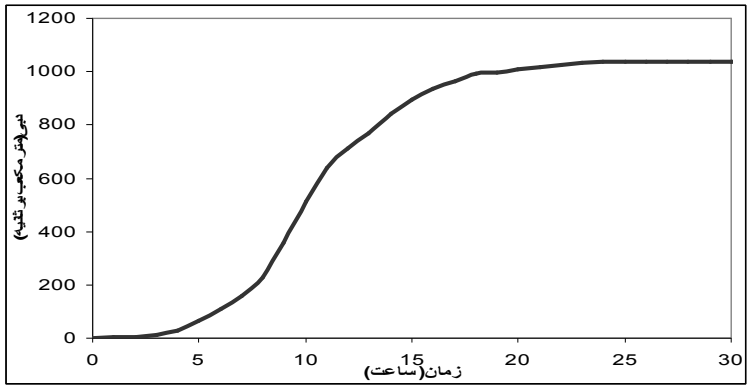
[1] Digital Elevation Models

است. فاصله این نقطه تا خروجی حوزه برابر با ۷۹/۷۵ کیلومتر و عرض حوزه در این نقطه حدود ۱۸/۷۵ کیلومتر می‌باشد. با توجه به مرکز ثقل حوزه (ایستگاه چلگرد) با ارتفاع ۲۳۰۰ متر و طول ۵۰ درجه و ۴ دقیقه خاوری و عرض ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه دارای باران‌نگار، انتخاب شد.

برای محاسبه هیدروگراف خروجی با استفاده از مدل‌های یادشده، تعداد شش رگبار منفرد ایستگاه چلگرد که مقادیر سیل مربوط به آن در ایستگاه مرغک ثبت شده بود، انتخاب و گراف‌های باران‌نگار مربوط به آن تجزیه و بارش مازاد هر یک محاسبه گردید. بارش مازاد با استفاده از شاخص φ (مقدار متوسط تلفات باران به نحوی که بیش‌تر از این مقدار، رواناب تولید می‌شود) تعیین گردید. به‌عنوان نمونه رگبار ثبت شده درتاریخ ۷۳/۱۰/۲۷ و شاخص فی مربوط به آن در شکل ۳ نشان‌داده شده است. گراف‌های لیمینوگراف (ایستگاه مرغک) مربوط به رگبارهای انتخابی تعیین و هیدروگراف آن به‌دست آمد. برای مقایسه هیدروگراف سیل پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل با مقادیر ثبت شده در ایستگاه مرغک، لازم است که مبنای هیدروگراف‌ها یکی باشد. لذا منحنی S مربوط به هر سیل تهیه و با توجه به آن، هیدروگراف واحد با ساعت دل‌خواه به‌دست آمد. برای جداکردن دبی پایه، از شاخه خشکیدگی هیدروگراف استفاده شد. در شکل‌های ۴ و ۵ منحنی S، هیدروگراف کل، دبی پایه و دبی سیلابی برای تاریخ ۷۳/۱۰/۲۸ به‌عنوان نمونه نشان‌داده شده است. با توجه به منحنی S مربوط به هر سیل به‌دست آمده در مرحله قبل، هیدروگراف واحد مربوطه تهیه شد که بعداً به‌عنوان هیدروگراف‌های مشاهداتی، مبنای مقایسه قرار گرفتند.



شکل ۳- مقادیر شدت بارندگی و شاخص فی مربوط به آن

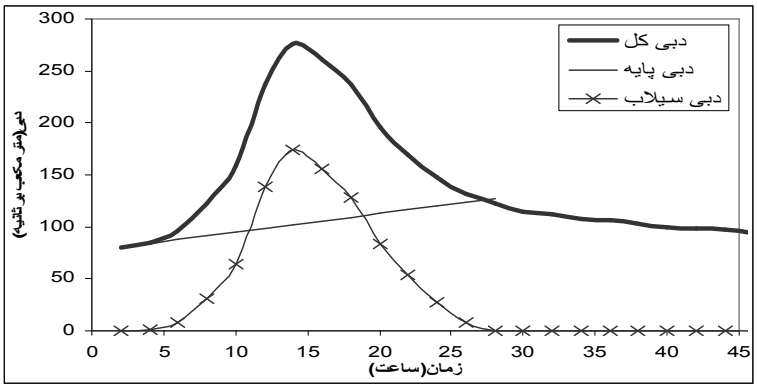


شکل ۴- منحنی S

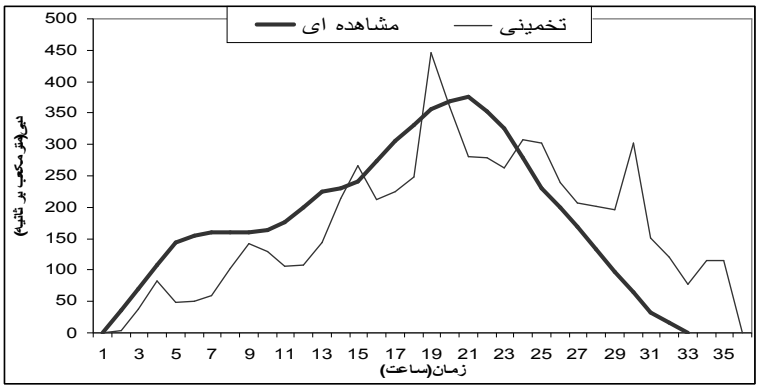
نتایج و بحث

در شکل‌های ۶ تا ۱۱ هیدروگراف‌های تخمینی به‌دست آمده از مدل زمان-سطح با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای ایستگاه مرغک مقایسه شده‌اند. برای ارزیابی کارآیی هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک ابتدا با توجه به هیدروگراف سیلاب‌های مختلف به‌دست آمده از ایستگاه خروجی (ایستگاه مرغک) هیدروگراف واحد متوسط حوزه به صورتی‌که

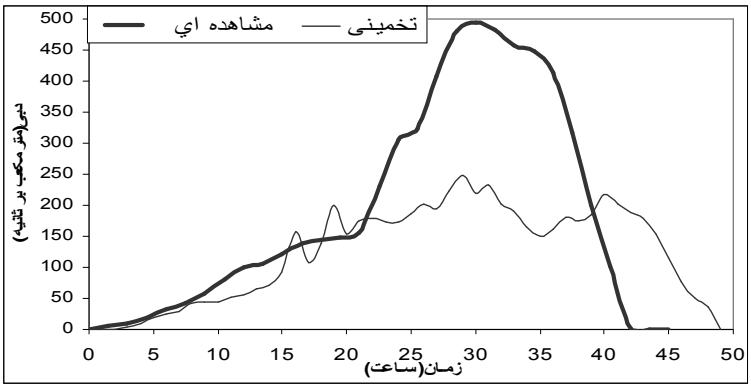
Visman و همکاران (۱۹۹۶) پیشنهاد کرده‌اند، تهیه گردید (شکل ۱۲) سپس هیدروگراف واحد متوسط حوزه با هیدروگراف واحد به‌دست آمده از مدل کلارک مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱۳).



شکل ۵- هیدروگراف جریان و طرز جداکردن دبی پایه



شکل۶- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۶/۱۲/۲۹)



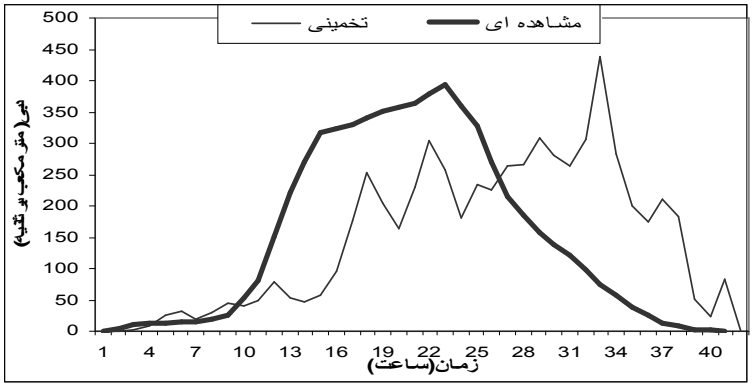
شکل ۷- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۷/۱۲/۲)

برای ارزیابی‌کارآیی مدل‌های زمان-سطح و کلارک از شاخص‌های آماری شامل خطای نسبی (RE)[1]، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)[2] و میزان انحراف (Bias) استفاده شد. شاخص‌های مذکور برای بررسی وقایع مرکب و منفرد به‌وسیله ASCE[3] در سال ۱۹۹۳ توصیه گردیده است (عبدالهی، ۱۳۸۱). مقادیر خطای نسبی برای حداکثر،

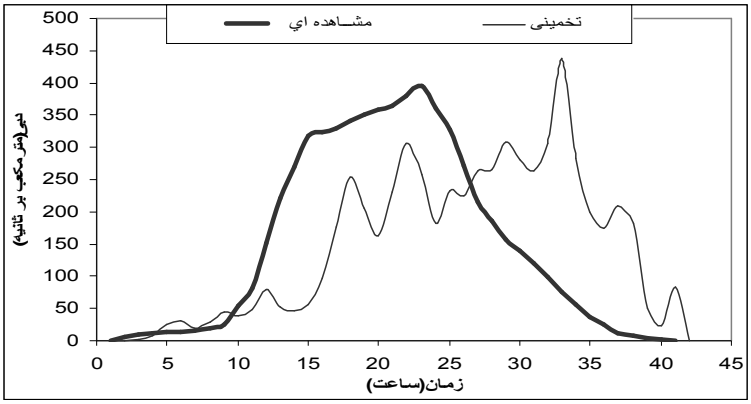
[1] Relative Error
[2] Root Mean Square Error
[3] American Society of Civil Enginees

حجم، زمان پایه هیدروگراف و زمان تا حداکثر هیدروگراف و هم‌چنین مجذور میانگین مربعات خطا و میزان انحراف برای هر یک از مدل‌های زمان-سطح و کلارک در جدول ۱ ارائه شده است.

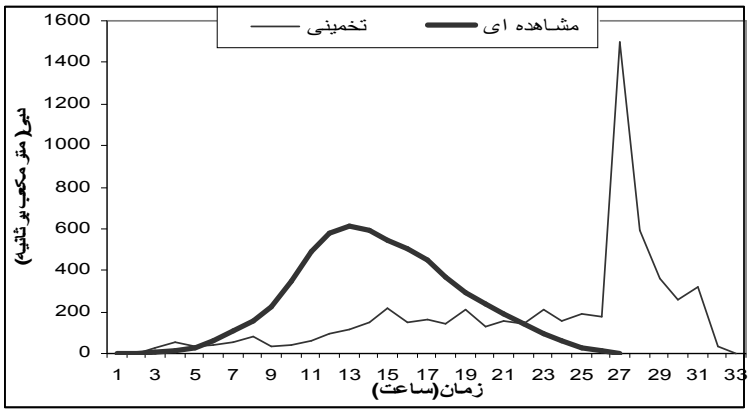
نتایج نشان می‌دهد بر اساس شاخص مجذور میانگین مربعات خطا، هر دو مدل دارای خطای زیادی هستند. براساس شاخص آماری خطای نسبی، میزان خطا در حجم سیلاب، پیک سیلاب و زمان تا پیک هیدروگراف پیش‌بینی شده در مدل کلارک بسیار کم و از نظر آماری قابل قبول است (از نظر آماری خطای نسبی کم‌تر از ۴۰ درصد، هم‌چنین مجذور میانگین مربعات خطا بایستی به صفر و میزان انحراف به یک میل کند تا پارامتر مورد ارزیابی، مناسب باشد).



شکل ۸- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۹/۱/۲)

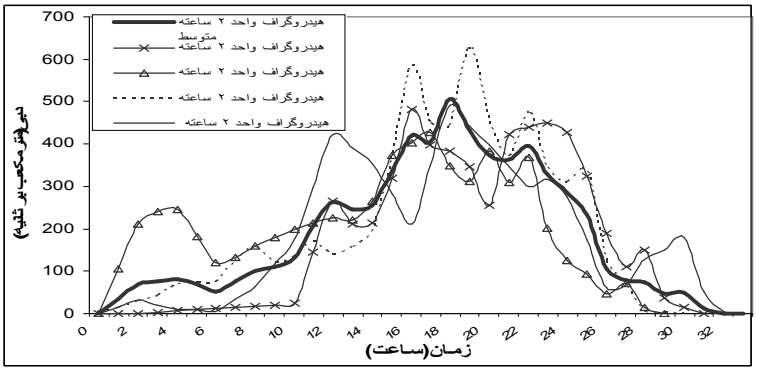


شکل ۹- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۲/۱/۱۹)

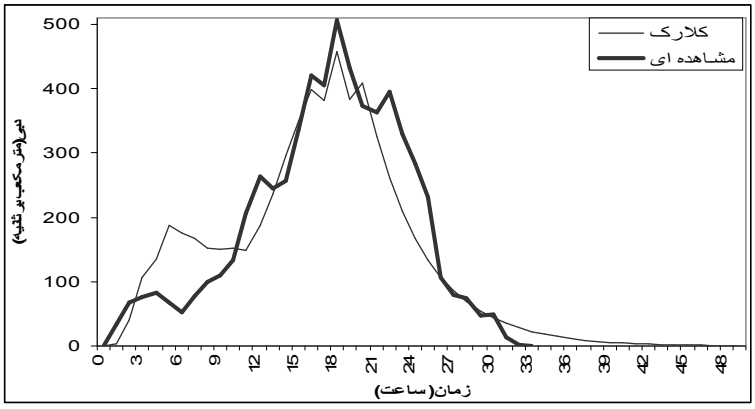


شکل ۱۰- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۳/۱۰/۲۸)

شکل ۱۱- هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۶/۱۲/۲۹)



شکل۱۲- هیدروگراف واحد متوسط حوزه



شکل ۱۳- مقایسه هیدروگراف واحد کلارک و هیدروگراف واحد متوسط حوزه

جدول ۱- نتایج ارزیابی مدل‌ها

شاخص آماری	مجذور میانگین مربعات خطا	درصد خطای نسبی				انحراف در پیک
		دبی پیک	زمان تا پیک	زمان پایه	حجم سیلاب	
روش زمان- سطح	۱۳۶/۹	۳۲/۸	۲۰/۷	۱۴/۵	۵۷	۱/۴
روش کلارک	۵۲/۸	۲۳/۳	۰	۴۸/۴۸	۱/۸	۱/۳

کمینه خطا در حجم سیلاب و زمان تا اوج دیده می‌شود هم‌چنین میزان انحراف دبی اوج با توجه به پارامتر Bias برابر با ۱/۳ می‌باشد که بسیار نزدیک به یک است؛ ضمن این‌که شکل هیدروگراف تخمینی در این روش شباهت زیادی به هیدروگراف مشاهده‌ای دارد. جدول فوق نشان می‌دهد که میزان خطای نسبی در دبی اوج سیلاب، زمان پایه و زمان

تا دبی اوج مدل زمان–سطح از نظر آماری قابل قبول است، ولی دقت آن کم می‌باشد و این مدل ارزیابی خوبی در مورد حجم و دبی اوج سیلاب ارائه نمی‌کند. حجم و دبی اوج سیلاب در کارهای مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است، لذا در مجموع می‌توان گفت که روش کلارک نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌کند و این مدل قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوزه‌های فاقد آمار است.

منابع مورد استفاده

۱. رحیمیان، ر. ۱۳۷۴. بررسی مدل‌های مختلف هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و کاربرد آن‌ها جهت سنتز هیدروگراف در حوزه‌های آبریز فاقد آمار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، گروه زمین‌شناسی.

۲. روغنی، ع. ۱۳۷۶. بررسی تاثیر مکانی مناطق مؤثر بر دبی اوج سیلاب با به‌کارگیری GIS و مدل روندیابی رواناب در حوزه آبخیز رودک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه منابع طبیعی تهران.

۳. عبدالهی، خ. ۱۳۸۱. مدل‌سازی رواناب بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز خان‌میرزا با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.

۴. عرفانیان، م. ۱۳۷۷. بررسی آب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و ژئومورفوکلیماتیکی در حوزه آبخیز جزین سمنان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه گرگان.

۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۲. هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی.

۶. غیاثی، ن. ۱۳۷۴. واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی حوزه امامه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تهران.

۷. قهرمان، ب. ۱۳۷۴. طرح پژوهشی بررسی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی. دانشگاه فردوسی مشهد.

۸. رئوف مصطفی‌زاده، ر.، ع.ر. بهره‌مند و ا. سعدالدین. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب مستقیم با مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، مطالعه موردی: آبخیز جعفرآباد استان گلستان. فصل‌نامه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال شانزدهم، شماره ۳، صفحه ۱۲۲-۱۰۵.

9. Clark, C.O. 1945. Storage and unit hydrograph. Trans of American Society of Civil Engineering, 110:1419-1446.
10. Cleveland, T.G., H. Xin, W.H. Asquith, X. Fang and D.B. Thompson. 2006. Instantaneous unit hydrograph evaluation for rainfall-runoff modeling of small watersheds in north and south central Texas. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132(5):479-485.
11. Fong Lin, G. and Y.M. Wang. 1998. General stochastic instantaneous unit hydrograph. Journal of Hydrology, 182(4):227-235.
12. Jain, S.K., R.D, Singh and S.M. Set. 2000. Design flood estimation using GIS supported GIUH approach. Journal of Water Resources Management, 14:369-376.
13. Maidment, D.R. 1993. Development of a spatially distributed unit hydrograph by using GIS. Proceedings of Hydro. GIS, IAHS Publication, No 212.
14. Mc Carthy, G.T. 1938. The unit hydrograph based on flood routing. Proceedings of Conference of North Atlantic Div., Crops of Engineering Publication.
15. Muzic, I. 1995. Lumped modelling and GIS in flood predictions. Kluwer Academic Publications.
16. Nash, J.E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. Hydroloical Sciences Journal of Iash, 72:114-118.
17. Ramírez, J.A. 2000. Prediction and modelling of flood hydrology and hydraulics. Ellen Wohl Cambridge University Press.
18. Raymond, I. and P. Jeng. 2003. True form of instantaneous unit hydrograph of linear reservoirs. Journal of Hydrology, 122(1):11-17.
19. Saghafian, B., P.Y. Julien and H. Rajaie. 2002. Runoff hydrograph simulation based on time variable isochrones technique. Journal of Hydrology, 261:193-203.
20. Singh, V.P. 1988. Hydrology system. Prentice Hall Publications.
21. Singh, V.P. 1997. Flood routing based on diffusion wave equation using mixing cell method. Hydrological Processes, 11(14):1881-1894.
22. Snell, J.D. and M. Sivapalan. 1994. On geomorphologic dispersion in natural catchments and geomorphologic unit hydrograph. Water Resources Research, 30(7): 2311-2323.
23. Viessman, V., J. Knapp, G. Lewis and T. Harbaugh. 1996. Introduction to hydrology. Harper Collins College Publications.

Efficiency of Time–Area and Clark instantaneous unit hydrograph models in estimating flood discharge

Morteza Dehghani[1], BSc, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran
Ali Karami Khaniki, Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran
Seyed Hamid Reza Sadeghi, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 22 January 2011 Accepted: 07 July 2011

Abstract

One of the main objectives of hydrology is rainfall–runoff forecasting process for determination of flood hydrograph at the outlet of a watershed. The aim of this study was to investigate the consistency, accuracy and reliability of time–area and Clark instantaneous unit hydrograph models for estimating the shape, peak discharge, time to peak, base time and volume of flood resulting from a rainfall with certain intensity and duration. For this purpose, the topographic map of Bazoft watershed was digitized by using R2V package, the digital elevation model (DEM) and isochronal prepared with the ILWIS software. Finally, the flood hydrographs were estimated by Clark and time-area models for six selected storm events. The computed hydrographs then compared with those obtained by measured data an outlet of the basin. The results showed that while both methods have some errors, the Clark model gives a better estimation of outlet hydrograph in comparison with time-area model. The amount of relative error for peak discharge for Clark and Time- Area methods were 23.3% and 32.8%, respectively.

Key words: Bazoft watershed, Flood estimation, Hydrology, Rain gauge, Rainfall–runoff

[1] Corresponding author: mdehghani_uni@yahoo.com