

## ارزیابی کاربرد روش زمان - سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در برآورد دبی سیلاب بازفت کارون

سعید جهانبخش اصل<sup>۱</sup>  
مجید رضائی بنفشه<sup>۲</sup>  
مسعود گودرزی<sup>۳</sup>  
عبدالمحمد غفوری روزبهانی<sup>۴</sup>  
محمدحسین مهدیان<sup>۵</sup>

### چکیده

از اهداف مهم هیدرولوژی، پیش‌بینی کمی فرایند بارش - رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی و در نهایت تعیین میزان دبی عبوری در خروجی حوضه 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 پیک، زمان تا پیک، زمان پایه و حجم هیدروگراف در هر رگبار بارش با شدت و مدت معین می‌باشد. برای این منظور ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و نرم‌افزار ILWIS نقشه خطوط همزمان تمرکز و مرکز ثقل حوضه به دست آمد. سپس با استفاده از داده‌های باران‌نگار و انتخاب رگبار مناسب، هیدروگراف سیل مربوط به هر رگبار با استفاده از روش‌های زمان - سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک به دست آمد و نتایج با هیدروگراف

1- استاد دانشگاه تبریز گروه جغرافیای طبیعی

2- استادیار دانشگاه تبریز گروه جغرافیای طبیعی.

3- دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز و عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی.

4- عضو هیات علمی (استادیار) مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی.

5- عضو هیات علمی (استادیار) مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی.

ثبت شده مربوطه در انتهای حوضه 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 و می‌توان از این روش برای محاسبه هیدروگراف ناشی از یک رگبار در حوضه‌های بدون آمار استفاده کرد. **واژگان کلیدی:** هیدروگراف واحد لحظه‌ای، مدل کلارک، مدل زمان - سطح، برآورد سیل.

## مقدمه

به دلیل کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری و بالا بودن هزینه ساخت و نگهداری آن، اطلاعات کافی در مورد هیدروگراف سیل و دبی جریان رودخانه در اکثر حوضه‌های ایران وجود ندارد. از طرفی در کارهای مهندسی منابع آب و ساماندهی رودخانه، تعیین دبی سیلاب بسیار ضروری است. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی توانائی هیدروگراف‌های واحد کلارک در برآورد دبی سیلاب است، مدل‌های بارش - رواناب از جمله روش‌هایی هستند که قادر به پیش‌بینی و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب ناشی از هر بارش می‌باشند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به هیدروگراف واحد<sup>۱</sup>، هیدروگراف واحد لحظه‌ای<sup>۲</sup>، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی<sup>۳</sup> و روش زمان - سطح<sup>۴</sup> اشاره کرد. این مدل‌ها براساس پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژیکی پیک سیلاب را محاسبه می‌کنند. سوال اساسی اینست که کدام روش در حوضه‌های فاقد آمار کارایی بیشتری دارد؟

از مهم‌ترین قدم‌هایی که در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژی و تهیه هیدروگراف سیل طرح برداشته شده است استفاده از هیدروگراف واحد می‌باشد که اولین بار توسط شرمن پیشنهاد گردید. تهیه هیدروگراف واحد حوضه برای تداوم‌های مختلف از اقدامات اساسی در هیدرولوژی می‌باشد.

- 1- Unit Hydrograph
- 2- Instantaneous Unit Hydrograph
- 3- Geomorphology Instantaneous Unit Hydrograph
- 4- Time Area Method

تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای در سال ۱۹۳۰ توسط کمیته مهندسی بوستون ارائه گردید و بیانگر توزیع رواناب سطحی حاصل از یک واحد بارش مازاد است که بطور آبی و لحظه‌ای در حوضه آبخیز اتفاق افتاده باشد. این هیدروگراف یک هیدروگراف تک اوجی است و مقدار آن برای هر حوضه واحد است (علیزاده، ۱۳۸۴: ۵۵۰ و Ramirez, 2000: 27). هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای هر حوضه منحصر به فرد بوده و به عنوان شناسنامه آن حوضه می‌باشد. این هیدروگراف فقط با داشتن خصوصیات فیزیوگرافی و ژئومورفولوژیکی حوضه (بدون نیاز به اطلاعات مربوط به بارندگی و مستقل از زمان) به دست می‌آید و با کمترین داده اولیه قادر به پیش‌بینی هیدروگراف سیل با دقت قابل قبول می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۲: ۴۸۵). مدل زمان- سطح تکامل یافته روش استدلالی<sup>۱</sup> است که توسط Lioyd-Davis ارائه گردید. در این روش دبی خروجی حوضه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q = 0.278CIA \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $Q$  دبی اوج سیلاب بر حسب متر مکعب بر ثانیه،  $C$  ضریب رواناب سطحی،  $I$  شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت در زمان تمرکز در دوره بازگشت مورد نظر و  $A$  مساحت بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد. در این مدل شدت بارندگی متغیر و مساحت محاسباتی مربوط به مساحت بین دو خط همزمان تمرکز می‌باشد (Singh, 1988: 11).

مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک حوضه را به عنوان یک مخزن فرضی با ویژگی‌های مشابه ذخیره حوضه در نظر می‌گیرد و با استفاده از روش روندیابی ماسکینگام هیدروگراف ورودی را روندیابی می‌کند (Singh, 1988: 13). رابطه ۲ روش روندیابی ماسکینگام برای مدل کلارک را نشان می‌دهد.

$$Q_2 = \frac{0.5t}{K + 0.5t} I_1 + \frac{0.5t}{K + 0.5t} I_2 + \frac{K - 0.5t}{K + 0.5t} Q_1 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن:  $\Delta T$  گام زمانی ( $\frac{K}{3} \leq \Delta T \leq K$ )،  $I_1$  میزان جریان ورودی اولیه،  $I_2$  میزان جریان ورودی بعد از زمان  $t$ ،  $Q_1$  میزان جریان خروجی اولیه،  $Q_2$  میزان جریان خروجی بعد از زمان  $t$ ،  $S_1$  میزان ذخیره اولیه و  $k$  ضریب ذخیره حوضه است.

### پیشینه تحقیق

Clark (۱۷:۱۹۴۵) عرض هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به عنوان یک پاسخ ژئومورفولوژیکی حوضه و متناسب با منحنی تمرکز زمان - مساحت قلمداد نمود. Nash (۱۹۵۷: ۱۲۲) گشتاور اول و دوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای را با برخی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه‌های آبخیز انگلستان مرتبط کرد و این روش را برای تعیین هیدروگراف واحد حوضه مناسب ارزیابی کرد. در استرالیا Snell و Sivapalan (۵۸:۱۹۹۴) هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی به دست آمده از قوانین هورتن و استراهلر را با روش تابع عرض مقایسه نمودند و روش تابع عرض را شاخص بهتری برای واکنش حوضه دانستند. Maidment (۱۱۲:۱۹۹۳) مدلی توزیعی را بر اساس روش زمان- سطح و مدل رقومی ارتفاع بنا نهاد. Muzic (۹۱:۱۹۹۵) مشابه کار Maidment را انجام داد، نمونه‌ای از این روش در مدل کامپیوتری HMS مورد استفاده قرار گرفته است. Singh (۱۸:۱۹۹۷) معتقد است که تولید رواناب به عوامل متعددی از جمله: خصوصیات حوضه، دینامیک بارش، نفوذپذیری خاک و رطوبت پیشین بستگی دارد وی بیان می‌کند که رطوبت پیشین در رواناب تأثیر زیادی دارد. Fong Lin و Yu-Ming Wang (۱۰۵:۱۹۹۸) 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، به وجود می‌آورد.

Jain و همکاران (۵:۲۰۰۰) با استفاده از ترکیب مدل کلارک و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی بوسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی دریافتند که حساسیت دبی بیک به تغییرات الگوی بارش زیاد است. Saghafyan و همکاران (۲۷۵:۲۰۰۲) روش جدیدی را بر پایه استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع و تکنیک زمان - سطح برای مدل‌سازی

توزیعی توسعه دادند. Raymond و Jeng (۲۰۰۳: ۳۷) با حل معادله موج سینماتیک با استفاده از تابع توزیع گاما و مفهوم مخازن خطی، هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به دست آوردند و آنرا تابع<sup>۱</sup> PKW-IUH نامیدند.

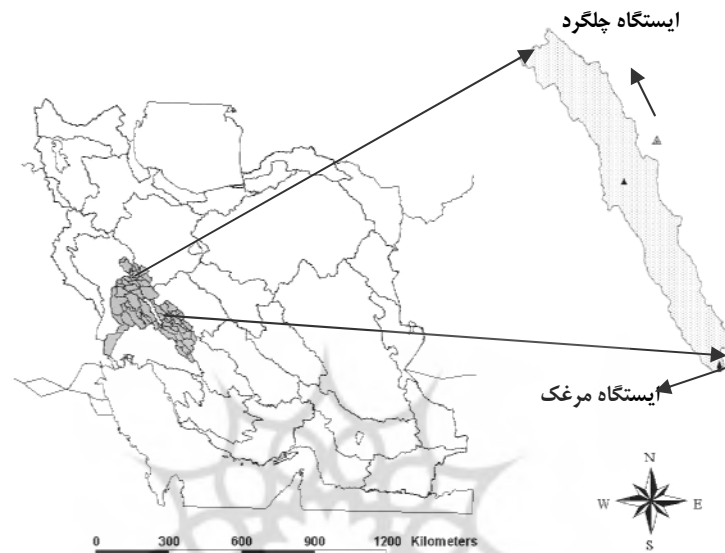
رحیمیان (۱۳۷۴: ۷۹) هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی را در حوضه پس کوهک شیراز مورد آزمایش قرار داد. وی نتیجه گرفت که روش‌های SCS و اشنايدر مثلثی با هیدروگراف مشاهده‌ای مطابقت بیشتری دارد. غیائی (۱۳۷۴: ۹۲) در ۶ مورد هیدروگراف تهیه شده به روش مشابه برای حوضه معرف امامه، به نتیجه معکوسی نسبت به رحیمیان رسید و نشان داد که هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی کارائی مناسب‌تری نسبت به روش اشنايدر ندارد. قهرمان (۱۳۷۴: ۳۳) در حوضه معرف کسلیان و اقلیم شمال کشور مدل فوق را نسبت به مدل ژئومورفوکلیماتیک دارای کارائی کمتری یافت. روغنی (۱۳۷۶: ۵۶) با کالیبره نمودن یک مدل روندیابی رواناب با استفاده از سطوح همزمان تمرکز و همچنین نحوه قرار گرفتن این سطوح در کل حوضه میزان تاثیر این سطوح را در دبی اوج مورد بررسی قرار داد. وی نتیجه گرفت که سطوح مختلف حوضه نقش متفاوتی در دبی خروجی حوضه ایفا می‌کند. عرفانیان (۱۳۷۷: ۵۱) با بررسی‌های خود در حوضه جزین سمنان به وسیله شاخص آماری مجموع مربعات خطا ترتیب کارائی مدل‌ها را به صورت GIUH، S.C.S، Nash با توزیع گاما، GcIUH و GIUH مثلثی ارائه نموده است. عبدالهی (۱۳۸۱: ۶۹) بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه 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، از نقطه نظر زمان تا اوج نیز هیدروگراف طبیعی زمان تا اوج طولانی‌تری دارد.

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.

## منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه با توجه به معیارهای زیر انتخاب گردید:

- حوضه 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 هدر رفت و برداشت آب در مناطق دشتی زیاد بوده و هیدروگراف‌های حاصل (مشاهده‌ای) نمی‌تواند بیانگر دبی واقعی باشد.
  - سد یا بند انحرافی در بالادست ایستگاه هیدرومتری موجود نباشد زیرا وجود سد باعث ذخیره موقت آب و کاهش دبی اوج گردیده و در نتیجه شیب شاخه نزولی هیدروگراف کاهش یافته و زمان پایه هیدروگراف طولانی‌تر می‌شود. لذا هیدروگراف خروجی چنین حوضه‌های معرف خصوصیات واقعی حوضه نخواهد بود.
  - ایستگاه هیدرومتری مورد نظر دارای سیلاب‌های ثبت شده مناسب باشد و دسترسی به آمار و گراف‌های مربوطه امکان‌پذیر باشد.
- با توجه به شرایط فوق نهایتاً حوضه آبخیز بازفت از زیر حوضه‌های اصلی کارون واقع در استان چهارمحال و بختیاری با مساحت  $2111/4$  کیلومتر مربع برای این مطالعه انتخاب گردید. حداکثر ارتفاع این حوضه  $4018$  متر و حداقل آن  $860$  متر از سطح دریا می‌باشد. شکل ۱ موقعیت حوضه کارون و زیر حوضه بازفت را نشان می‌دهد.

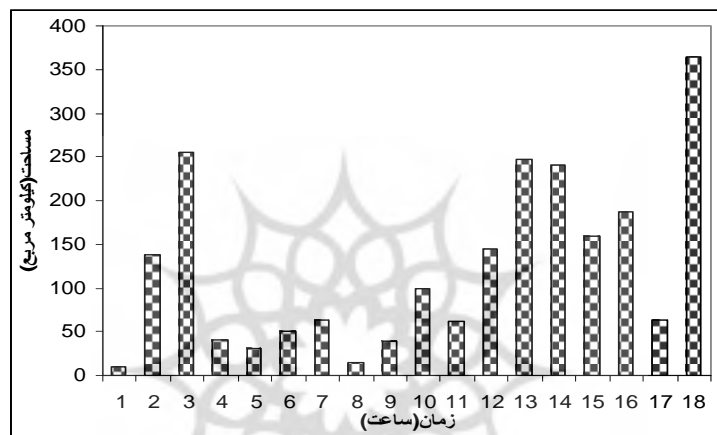


شکل (1) موقعیت حوضه کارون، زیر حوضه بازفت و ایستگاه‌های مورد استفاده

### مواد و روش‌ها

انجام تحقیق حاضر شامل مراحل گردآوری اطلاعات بارش - رواناب، استخراج هیدروگراف زمان - سطح حوضه با استفاده از GIS، استخراج هیدروگراف تخمینی مدل زمان - سطح، استخراج هیدروگراف تخمینی مدل هیدروگراف واحد لحظه کلارک با استفاده از روش گرافیکی برای به دست آوردن پارامتر K معادله ماسکینگام و ارزیابی نتایج به دست آمده می‌باشد. در عین حال از گراف‌های سیلاب هائی باید استفاده شود که گراف‌های بارش همزمان آن موجود بوده و آب حاصل از ذوب برف در آن تأثیری نداشته باشد. سپس شدت بارندگی از گراف‌های باران نگارهای ثابت استخراج شده و هیتوگراف بارش نظیر هر سیلاب ترسیم می‌گردد. از روی هیتوگراف بارندگی با استفاده از شاخص فی، مدت زمان بارش مؤثر مربوط به هر سیلاب محاسبه می‌گردد. نقشه توپوگرافی حوضه با استفاده از نرم‌افزارهای R2V و ILWIS رقمی گردید سپس با استفاده از نقشه به دست آمده نقشه مدل رقمی

ارتفاع<sup>۱</sup> با اندازه پیکسل برابر با ۳۰ متر به دست آمد. منحنی‌های همزمان تمرکز با استفاده از نقشه DEM و فرمول California برای هر یک ساعت محاسبه گردید و با استفاده از منحنی‌های به دست آمده، نمودار زمان - سطح برای حوضه بازفت مطابق شکل ۲ به دست آمد.



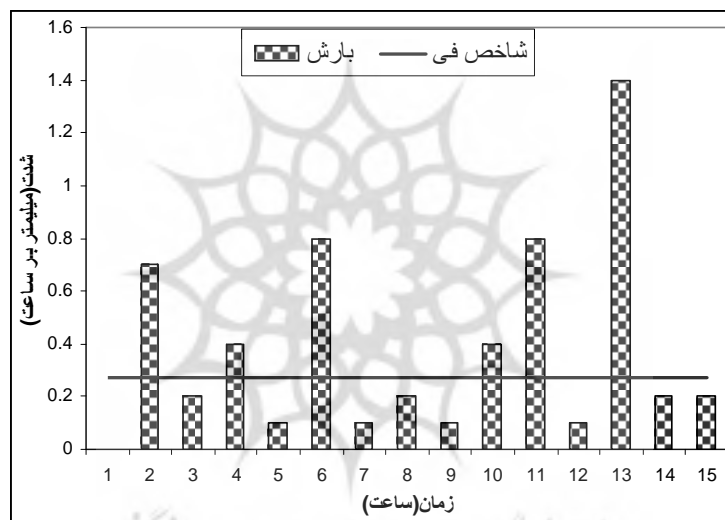
شکل (۲) نمودار زمان - سطح حوضه

برای به دست آوردن مرکز ثقل حوضه نقاط مختلفی روی محیط حوضه انتخاب و با توجه به طول و عرض آنها مرکز ثقل حوضه تعیین گردید. نقطه به دست آمده دارای طول ۵۰ درجه و ۴ دقیقه و عرض ۳۲ درجه و ۸ دقیقه می‌باشد. فاصله این نقطه تا خروجی حوضه برابر با ۷۹/۷۵ کیلومتر و عرض حوضه در این نقطه حدود ۱۸/۷۵ کیلومتر می‌باشد. با توجه به مرکز ثقل حوضه ایستگاه چلگرد با ارتفاع ۲۳۰۰ متر و مختصات جغرافیائی به طول ۵۰ درجه و ۴ دقیقه و عرض ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه دارای باران‌نگار انتخاب گردید.

برای محاسبه هیدروگراف خروجی با استفاده از مدل‌های یاد شده تعداد شش رگبار منفرد ایستگاه چلگرد که مقادیر سیل مربوطه به آن در ایستگاه مرگک ثبت شده بود در دوره ۷۹-

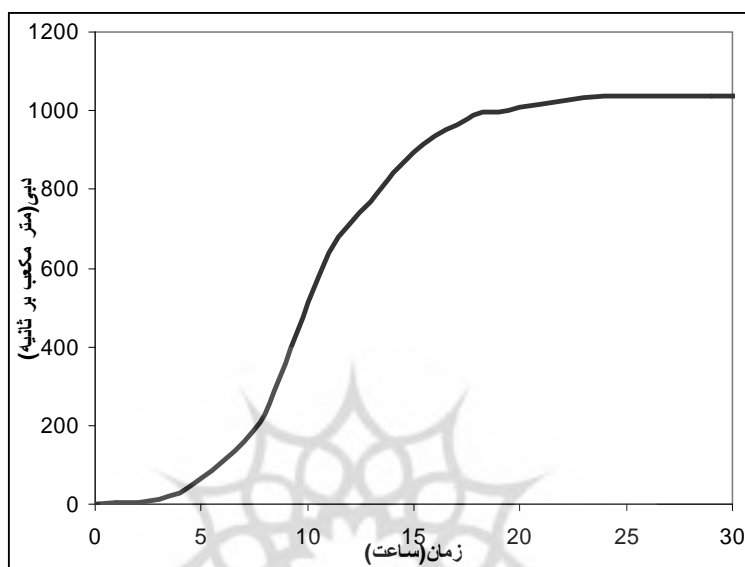


۱۳۷۲، انتخاب شده و گراف‌های باران نگار مربوط به آن تجزیه و بارش مازاد هر یک محاسبه گردید. علت انتخاب ۶ رگبار این بود که بایستی رگبارهایی انتخاب شوند که هیدروگراف سیلاب همزمان آن در اختیار باشد. بارش مازاد با استفاده از شاخص  $\phi$  (مقدار متوسط تلفات باران به نحوی که بیشتر از این مقدار رواناب تولید می‌شود) تعیین گردید. به عنوان نمونه رگبار ثبت شده در تاریخ ۷۳/۱۰/۲۷ و شاخص فی مربوط به آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

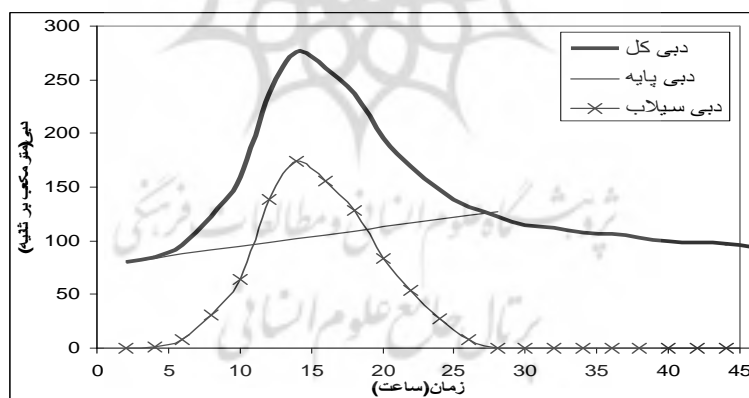


شکل (۳) مقادیر شدت بارندگی و شاخص فی مربوط به آن

گراف‌های لیمینوگراف (ایستگاه مرغک) مربوط به رگبارهای انتخابی تعیین و هیدروگراف آن به دست آمد. برای مقایسه هیدروگراف سیل پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر ثبت شده در ایستگاه مرغک لازم است که مبانی هیدروگراف‌ها یکی باشد. لذا منحنی  $S$  مربوط به هر سیل تهیه و با توجه به آن هیدروگراف واحد با ساعت دلخواه به دست آمد. برای جدا کردن 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 به عنوان نمونه نشان داده شده است.



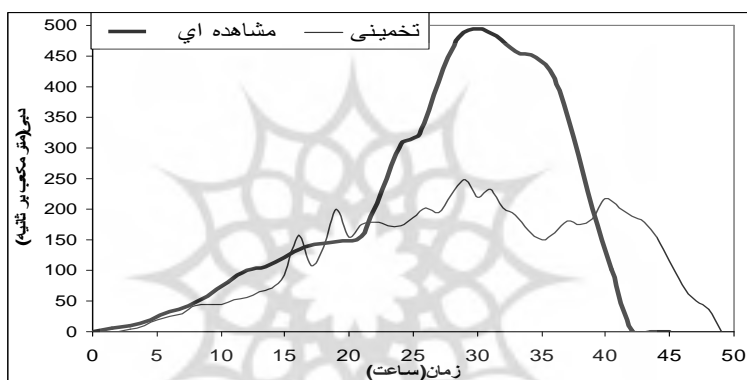
شکل (۴) منحنی S



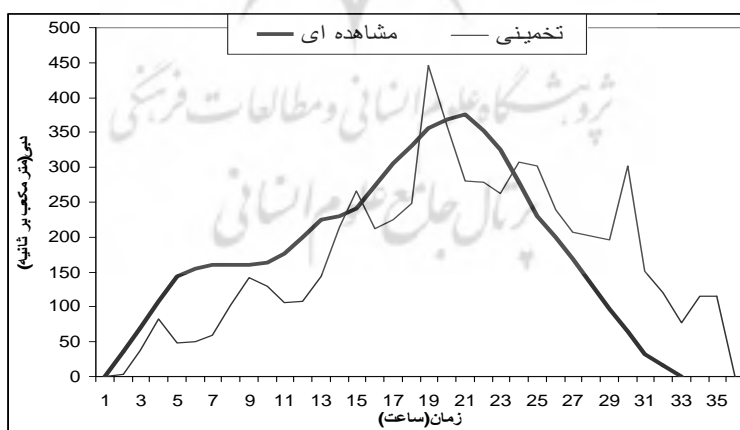
شکل (۵) هیدروگراف جریان و طرز جدا کردن دبی پایه

با توجه به منحنی S مربوط به هر سیل به دست آمده در مرحله قبل، هیدروگراف واحد مربوطه تهیه شد که بعداً به عنوان هیدروگراف‌های مشاهداتی مبنای مقایسه قرار گرفتند. در

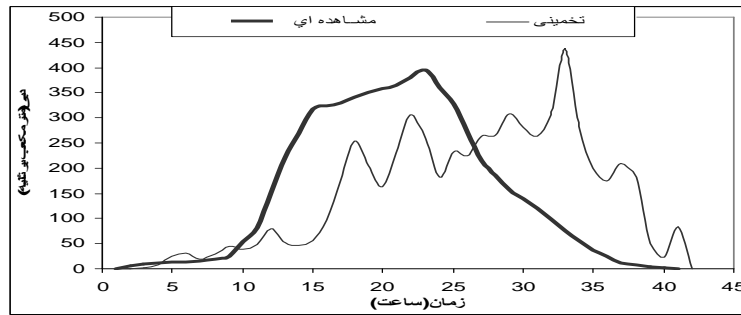
شکل‌های ۶ تا ۱۱ هیدروگراف‌های تخمینی به دست آمده از مدل زمان - سطح با هیدروگراف‌های مشاهداتی ایستگاه مرغک مقایسه شده‌اند. برای ارزیابی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک ابتدا با توجه به هیدروگراف سیلاب‌های مختلف به دست آمده از ایستگاه خروجی (ایستگاه مرغک) هیدروگراف واحد متوسط حوضه به صورتی که Visman و همکاران (۱۹۹۶) پیشنهاد کرده‌اند تهیه گردید (شکل ۱۲) سپس هیدروگراف واحد متوسط حوضه با هیدروگراف واحد به دست آمده از مدل کلارک مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱۳).



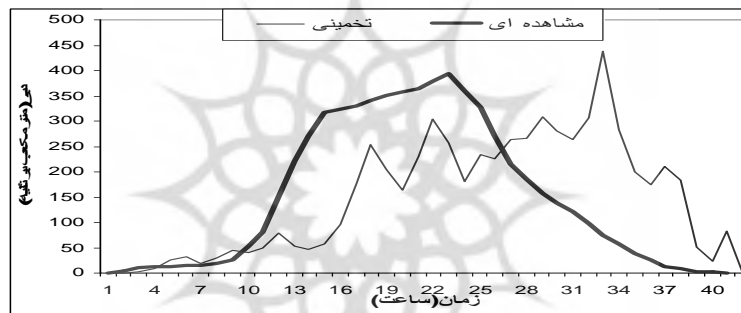
شکل (۶) هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۶/۱۲/۲۹)



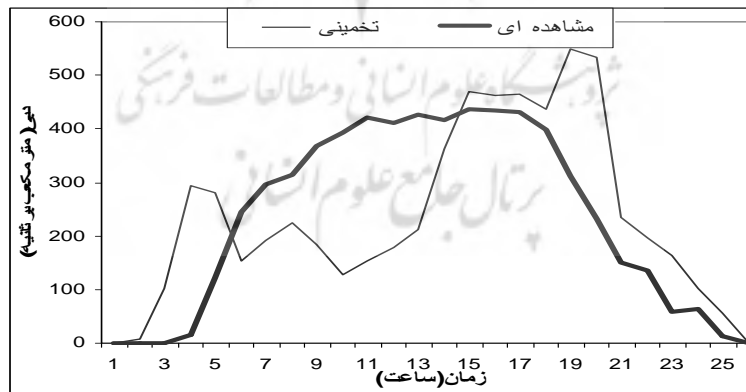
شکل (۷) هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۷/۱۲/۲)



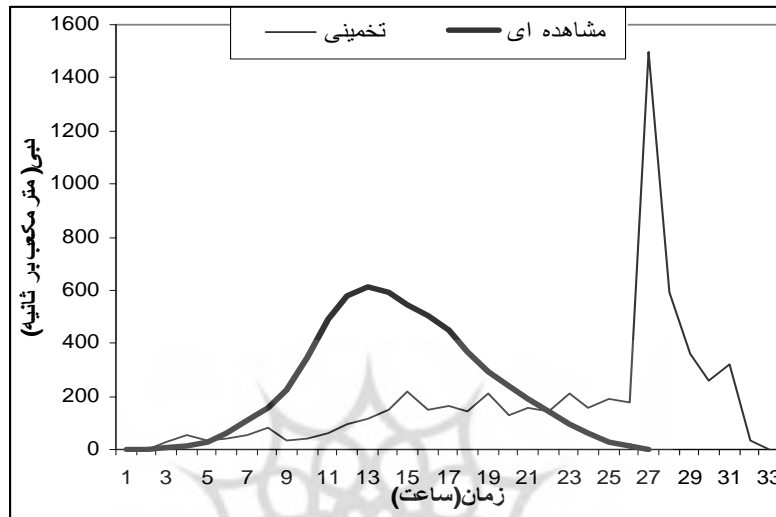
شکل (۸) هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۹/۱/۲)



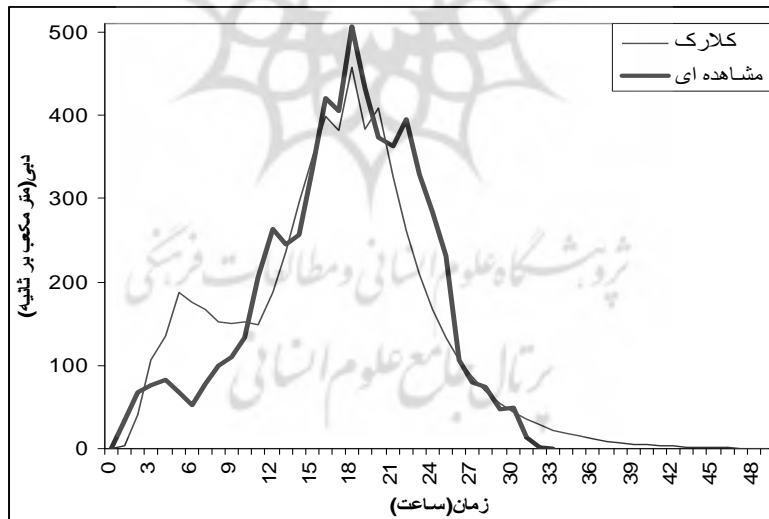
شکل (۹) هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۲/۱/۱۹)



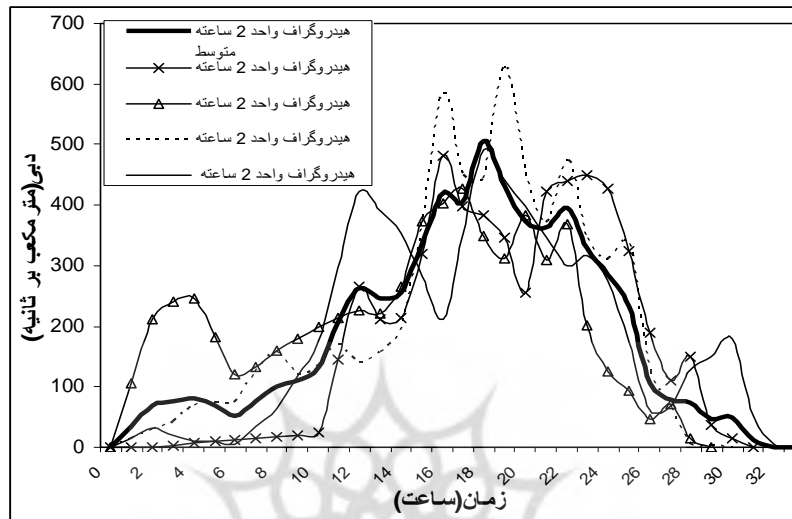
شکل (۱۰) هیدروگراف واحد مشاهداتی و تخمینی (۷۳/۱۰/۲۸)



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



شکل (۱۲) هیدروگراف واحد متوسط حوضه



شکل (۱۳) مقایسه هیدروگراف واحد کلارک و هیدروگراف واحد متوسط حوضه

### بحث و نتیجه‌گیری

برای ارزیابی کارایی مدل‌های زمان - سطح و کلارک از شاخص‌های آماری شامل: خطای نسبی<sup>۱</sup>، مجذور میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> و میزان انحراف<sup>۳</sup> استفاده گردید. شاخص‌های مذکور برای بررسی وقایع مرکب (هیدروگراف مرکب) و وقایع منفرد (هیدروگراف ساده) توسط (ASCE, 1993: 13)<sup>۴</sup> توصیه گردیده است. مقادیر خطای نسبی برای پیک سیلاب، حجم سیلاب، زمان پایه هیدروگراف و زمان تا پیک 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.

- 1- Relative Error (RE)
- 2- Root Mean Square Error (RMSE)
- 3- Bias
- 4- American Society of Civil Engineering

جدول (۱) نتایج ارزیابی مدل‌ها

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

نتایج نشان می‌دهد بر اساس شاخص مجدور میانگین مربعات خطا این دو مدل کارائی ندارند در حالی که بر اساس 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 می‌باشد. حداقل خطا در حجم سیلاب و زمان تا پیک دیده می‌شود همچنین میزان انحراف دبی پیک با توجه به پارامتر انحراف برابر با ۱/۳ می‌باشد که بسیار نزدیک به یک است ضمن اینکه در مقایسه انجام شده برای تک‌تک رگبارهای انتخابی به صورت متناظر شکل هیدروگراف تخمینی در این روش شباهت زیادی به هیدروگراف مشاهده‌ای دارد. جدول فوق نشان می‌دهد که میزان خطای نسبی در پیک سیلاب، زمان پایه و زمان تا پیک مدل زمان - سطح از نظر آماری قابل قبول است ولی دقت آن کم می‌باشد و این مدل ارزیابی خوبی در مورد حجم و پیک سیلاب ارائه نمی‌کند. حجم و پیک سیلاب در کارهای مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است لذا در مجموع می‌توان گفت که روش کلارک نسبت به روش زمان - سطح، نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد و این مدل قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه‌های فاقد آمار می‌باشد.

## منابع

- ۱- دهقانی، م. (۱۳۸۲)، «*رزیابی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک با استفاده از GIS*»، سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریائی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- رحیمیان، ر. (۱۳۷۴)، «*بررسی مدل‌های مختلف هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و کاربرد آنها جهت سنتز هیدروگراف در حوضه‌های آبریز فاقد آمار*»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی آبشناسی، دانشکده علوم دانشگاه شیراز.
- ۳- روغنی، ع. (۱۳۷۶)، «*بررسی تأثیر مکانی مناطق مؤثر بر دبی اوج سیلاب با بکارگیری GIS و مدل روندیابی رواناب در حوضه آبخیز رودک*»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۴- عبدالهی، خ. (۱۳۸۱)، «*مدل‌سازی رواناب بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه آبخیز خان‌میوزا با استفاده از GIS*» پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریائی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۵- عرفانیان، م. (۱۳۷۷)، «*بررسی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و ژئومورفوکلیماتیکی در حوضه آبخیز جبرین سمنان*»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه گرگان.
- ۶- عزیزاده، ا. (۱۳۸۴)، «*هیدرولوژی کاربردی*»، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، چاپ هیجدهم.
- ۷- غیاثی، ن. (۱۳۷۴)، «*واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی حوضه امامه*»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۸- قهرمان، ب. (۱۳۷۴)، «*طرح پژوهشی بررسی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی*»، گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- 9- American Society of Civil Engineering, (1993), "Criteria for Evaluation of Watershed Models", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 199(3).



- 10- Clark, C. O, 1945, "Storage and Unit Hydrograph", *Journal of Trans ASCE*, 110:1419-1446.
- 11- Fong Lin, G. and Yu-Ming 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 a Spatially Distributed Unit Hydrograph by Using GIS", Proceeding of Hydro GIS 93, Iahs Publication, No 212.
- 14- Mccarthy, G. T, (1938), "The Unit Hydrograph Based on Flood Routing", Proceeding Conference of North Atlantic Div, Crops of Engineering Publication.
- 15- Muzic, I, (1995), "Lumped Modelling and GIS in Flood Predictions", Kluwer Academic Publications.
- 16- Nalbantis, I., M, Rodriguez and S, Obled, (1995), "Unit Hydrograph and Effective Precipitation Identification", *Journal of Hydrology*, 168: 127-157.
- 17- Nash, J.E, (1957), "The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph", *Journal of Iash*, 72: 114-118.
- 18- Raghunath, H.M, (1997), "Hydrology (Principle, Analysis, Design)", Wily Eastern Limited Publications.
- 19- Ramírez, J.A, (2000), "Prediction and Modelling of Flood Hydrology and Hydraulics", Ellen Wohl Cambridge University Press.
- 20- Raymond,I and P, Jeng, (2003), "True Form of Instantaneous Unit Hydrograph of Linear Reservoirs", *Journal of Hydrology*, 122(1):11-17.
- 21- Saghafyan, B., P.Y, Julien and H, Rajaie, (2002), "Run off Hydrograph Simulation Based on Time Variable Isochrones Technique", *Journal of Hydrology*, 261: 193-203.

- 22- Singh, Vp., (1988), "Hydrology System", Prentice Hall Publications.
- 23- Singh, Vp., (1997), "Flood Routing Based on Diffusion Wave Equation Using Mixing Cell Method", *Journal of Hydrological Processes*, 11(14): 1881-1894.
- 24- Snell, J.D and M, Sivapalan, (1994), "On Geomorphologic Dispersion in Natural Catchments and Geomorphologic Unit Hydrograph", *Journal of Water Resources Research*, 30(7): 2311-2323.
- 25- Taylor, A.B, and H.E, Schwarz, (1952), "Unit Hydrograph Lag and Peak Flow Related to Basin Characteristics Trans", *Journal of Geophysics*, 33: 235-246.
- 26- Viesman, V., L, Gary and Lewis, (1996), "*Introduction to Hydrology*", Harper Collins College Publications.