

## بررسی کاربرد هیدروگراف‌های واحد مصنوعی در تجزیه و تحلیل سیلاب‌ها در حوزه‌های آبخیز شمال کشور<sup>۱</sup>

غلامرضا زهتاییان<sup>۲</sup> امید علیپورتوماج<sup>۳</sup> مهدی وفاخواه<sup>۴</sup>

### چکیده

حوزه آبخیز، یک هیدروسستم متشکل از واحدهای هیدرولوژیک مختلف مرتبط به هم است که نسبت به بارش ورودی واکنش نشان می‌دهد. ابعاد هیدروگراف رواناب خروجی، نشان‌دهنده شاخص کمی و نهایی عکس‌العمل حوزه در قبال بارش ورودی به آن است و شناخت روابط موجود بین بارش رواناب، یکی از مباحث مهم علم هیدرولوژی است. به‌منظور بررسی میزان کارایی هیدروگراف‌های واحد کلارک، ناش، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتابارابارا در حوزه‌های آبخیز شمال کشور و برآورد هیدروگراف رواناب خروجی، چهار حوزه با خصوصیات مختلف انتخاب گردیدند. برای حوزه‌های مورد مطالعه ۱۰ واقعه متناظر باران - رواناب انتخاب و برای هر مطالعه، هیدروگراف رواناب خروجی به وسیله روش‌های فوق محاسبه گردید. مقایسه هیدروگراف‌های محاسبه‌ای حاصل از مدل‌های مورد تحقیق و هیدروگراف‌های مشاهده‌ای وقایع انتخابی نشان می‌دهد که برای حوزه معرف کسلیان با مساحت ۶۸/۷۸ کیلومترمربع، مدل سانتابارابارا، و برای حوزه‌های کسلیان - شیرگاه و قرآن طالار با مساحت‌های ۳۴۱ و ۴۰۳ کیلومترمربع، روش اشنایدر دارای کمترین مقادیر میانگین خطای نسبی و میانگین توان دوم خطاست. برای حوزه طالار با مساحت ۱۷۷۲ کیلومترمربع نیز روش مثلثی دارای کمترین مقدار میانگین خطای نسبی و روش سانتابارابارا دارای کمترین مقدار توان دوم خطاست.

**واژه‌های کلیدی:** هیدروگراف‌های واحد کلارک، ناش، شهری سانتابارابارا، SCS، مثلثی و اشنایدر

۱- تاریخ دریافت: ۷۹/۱۱/۲، تاریخ تصویب نهایی: ۸۰/۶/۲۶

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد آبخیزداری

۴- عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

در طراحی‌های مختلف زهکشی شهری، سیستم‌های احیا و زهکشی اراضی، سرریزها، اقدامات کنترل سیلاب و... مسئله تعیین دبی طراحی، پارامتر اصلی است. برای تعیین دبی طراحی در حوزه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری، اغلب از روش‌های تجربی تبدیل بارش به رواناب استفاده می‌شود. این روش‌ها برای مناطق خاصی ارائه شده‌اند و دارای ضرایبی هستند که برای شرایط مختلف، متفاوت است. مطمئن‌ترین راه برای استفاده از این روش‌ها، تعیین ضرایب آنها برای حوزه‌های دارای آمار اندازه‌گیری و سپس استفاده از این ضرایب در حوزه‌های فاقد آمار اندازه‌گیری با خصوصیات مشابه این حوزه‌هاست. یکی از روش‌های متداول در برآورد سیلاب، استفاده از هیدروگراف واحد است که نه تنها برای محاسبه پیک سیلاب، بلکه برای ایجاد هیدروگراف سیل‌های پیچیده نیز به کار می‌رود (۳). هیدروگراف واحد یا هیدروگراف سیلی که از اطلاعات بارندگی و دبی رودخانه یک حوزه به دست می‌آید، فقط برای آن حوزه آبخیز و همان نقطه رودخانه کاربرد دارد. برای سایر نقاط آن رودخانه یا حوزه‌های آبخیز که خصوصیتی مشابه حوزه آبخیز مورد نظر دارند، می‌توان از روش هیدروگراف مصنوعی استفاده کرد. از هیدروگراف‌های واحد مصنوعی می‌توان به مدل‌های کلارک، ناش، اشنايدر، SCS، مثلثی و سانتاباربارا اشاره نمود.

در مورد کارایی هیدروگراف‌های واحد مصنوعی، در دنیا و ایران، تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ژیوتو<sup>۱</sup> (۱۹۹۱) در تحقیقی به مقایسه هیدروگراف‌های رواناب حاصل از روش‌های SCS، سانتاباربارا، اشنايدر و تابع گاما پرداخت. وی ابتدا بارش مازاد را از روش SCS به دست آورد، سپس به محاسبه هیدروگراف رواناب به وسیله روش‌های فوق نتایج حاصل از تحقیق وی نشان داد که درحوزه‌های بزرگ هیدروگراف رواناب حاصل از روش SCS و در حوزه‌های کوچک و شهری، هیدروگراف سانتاباربارا نزدیک به مقدار مشاهده شده است.

چیچ<sup>۲</sup> (۱۹۹۵) در تحقیق خود برای برآورد دبی جریان، از دو روش مدل موج دینامیکی و مدل کلارک استفاده کرد. منطقه مورد بررسی حوزه دوان کریک<sup>۳</sup> بود. نتایج به دست آمده نشان داد که دبی حاصل از روش هیدروگراف واحد کلارک به مقدار مشاهده شده نزدیک‌تر بود.

بهادری خسروشاهی (۱۳۷۰) درحوزه آبخیز رودخانه جاجرود، در قسمت علیای حوزه و بالاتر از سد تنظیمی لتیان، در محل ایستگاه هیدرومتری رودک که مساحتی در حدود ۴۲۶ کیلومترمربع دارد، به بررسی و قابلیت به کارگیری هیدروگراف‌های واحد مصنوعی (SCS و اشنايدر) در تعیین سیلاب‌های این رودخانه پرداخت. نتایج حاصل از تحقیقات وی نشان داد که هیدروگراف‌های واحد SCS، انطباق خوبی با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای دارند.

عباسی (۱۳۷۱) تحقیقی در مورد کاربرد هیدروگراف‌های مصنوعی (SCS)، اشنايدر و مثلثی) در حوزه آبخیز کسلیان انجام داد. وی پس از مقایسه درصد اختلاف دبی اوج و مجموع مربع خطاهای هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و

<sup>۱</sup> -Ghioto

<sup>۲</sup> -Chih

<sup>۳</sup> -Dowan Creek

در این فاصله حدود ۶۰۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد.

برای انجام این تحقیق، چهار حوزه در شمال کشور انتخاب شدند. حوزه‌های مورد مطالعه عبارتند از: حوزه معرف کسلیان، کسلیان-شیرگاه، قرآن طالار و طالار که به ترتیب مساحت آنها ۶۷/۷۸، ۳۴۱، ۴۰۳ و ۱۷۷۲ کیلومتر مربع است.

### روش تحقیق

در تحقیق حاضر به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر، پنج مرحله کاری انجام شد:

- ۱- بررسی منابع، انتخاب حوزه‌های دارای آمار مناسب، جمع‌آوری آمار و اطلاعات چند واقعه متناظر باران - رواناب و اطلاعات فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز.
- ۲- محاسبه هیدروگراف‌های واحد با مدل‌های مختلف.

۱-۲- تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی با روش کلارک: مدل کلارک مبتنی بر مدل ذخیره خطی  $S=K.Q$  است که  $K$  ضریب ذخیره حوزه می‌باشد. برای محاسبه  $K$  در حوزه‌های مورد مطالعه، هیدروگراف سیلاب بر روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی رسم گردید. سپس شیب شاخه دوم نقطه شکستگی به دست آمد و مقدار شاخص  $K$  برای هر حوزه انتخاب گردید. مقادیر  $K$  شاخص در حوزه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. برای محاسبه هیدروگراف واحد کلارک از برنامه SMADA استفاده شد (۱۴).

مشاهده‌ای اعلام کرد که در حوزه امامه با مساحت ۳۷/۲ کیلومترمربع، روش مثلثی بهترین تطابق را داشته است. در مقابل، در حوزه کسلیان با وسعت ۶۶/۷ کیلومترمربع، روش اشنایدر با کمترین خطا همراه بوده است (۳).

هدف اصلی از انجام این تحقیق، انتخاب مناسب‌ترین روش تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی برای تجزیه و تحلیل سیلاب‌هاست که در این مورد سه پارامتر دبی اوج، زمان تا اوج و ابعاد هیدروگراف‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد بررسی

حوزه آبخیز رودخانه‌های مازندران که در شمال رشته‌کوه البرز میانی و در حاشیه جنوبی دریای مازندران واقع شده، دارای وسعتی حدود ۲۵۶۵۰ کیلومترمربع است. حوزه آبخیز رودخانه‌های مازندران بین مختصات جغرافیایی  $48^{\circ}$  و  $49^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$  و  $36^{\circ}$  طول شرقی و  $19^{\circ}$  و  $37^{\circ}$  عرض شمالی واقع شده است. جلگه ساحلی مازندران با روند شرقی-غربی در امتداد ساحل دریا با وسعتی معادل ۵۲۴۵ کیلومترمربع گسترده شده است.

آب و هوا در جلگه ساحلی معتدل و مرطوب و در ارتفاعات از معتدل تا سرد خشک تغییر می‌کند. میزان درجه حرارت از غرب به شرق افزایش و میزان بارندگی در این جهت کاهش می‌یابد، به نحوی که متوسط درجه حرارت از رامسر در غرب تا انتهای شرقی حوزه ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش و میزان بارندگی

جدول ۱- مقادیر  $K$  شاخص برای حوزه‌های مورد مطالعه

ضریب ذخیره	کسلیان-معرف	کسلیان-شیرگاه	قرآن طالار	طالار
K	۳/۶۵	۵/۷۰	۵/۹۰	۷/۰۵۷

شکل یک مخزن فرض می‌کنند و این مخزن به صورت خطی با ضریب ذخیره  $K_r$  تخلیه می‌شود. در این روش برای تهیه هیدروگراف واحد، از برنامه SMADA استفاده شد (۱۴).

۳- از آمار و اطلاعات جمع‌آوری‌شده، چند واقعه متناظر باران - رواناب در فصول غیرذوب برف انتخاب شد. پس از انتخاب وقایع متناظر باران - رواناب، مقدار بارندگی برای فواصل زمانی یک‌ساعته و سپس مقدار بارندگی تجمعی در انتهای هر فاصله زمانی از روی گراف‌های باران‌سنج ثبات استخراج گردید. همچنین پس از جداسازی جریان پایه (با استفاده از روش اول) و محاسبه سطح زیرمنحنی هیدروگراف رواناب مستقیم و با تقسیم آن بر سطح حوزه، ارتفاع رواناب مستقیم برای هر رگبار مشخص شد. با محاسبه مقدار تلفات بالقوه حوزه  $S$  (با استفاده از روش SCS) مقادیر بارش اضافی برای فواصل زمانی یک‌ساعته برای هر رگبار انتخابی به دست آمد. برای تعیین مقادیر بارش اضافی از برنامه Excess.Bas (که در محیط Qbasic نوشته شده است) استفاده شد (۷ و ۱۰).

۴- محاسبه هیدروگراف خروجی از مدل‌های موردنظر با استفاده از روش ماتریسی.

۵- محاسبه کارایی هیدروگراف خروجی حوزه از طریق مقایسه آماری هیدروگراف محاسبه‌ای و مشاهده‌ای با روش‌های میانگین خطای نسبی (MRE) و میانگین توان دوم خطا (MSE) با استفاده از فرمول‌های زیر:

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SE_i$$

$$\%RE_{QP} = \left| \frac{Q_{PO} - Q_{PC}}{Q_{PO}} \right| \times 100$$

$$\%RE_{TP} = \left| \frac{T_{PO} - T_{PC}}{T_{PO}} \right| \times 100$$

۲-۲- تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای با روش ناش: ناش (۱۹۵۴) حوزه آبخیز را به عنوان یک سیستم با  $n$  منبع خطی (سری) با مشخصات ذخیره حوزه  $S$  و ثابت ذخیره  $K$  معرفی کرد. پارامترهای  $n$  و  $K$  در این روش، براساس گشتاور اول و دوم بارش اضافی و رواناب خروجی محاسبه می‌گردند. در تحقیق حاضر، ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ناش توسط برنامه Nash.Bas (که در محیط Qbasic نوشته شده است) محاسبه شد. از آنجایی که اطلاعات فیزیوگرافی در حوزه معرف کسلیان مورد دسترس بود، هیدروگراف واحد ناش فقط برای این حوزه تهیه شد.

۲-۳- تهیه هیدروگراف واحد به روش اشنایدر: در روش اشنایدر، نیاز به کالیبره کردن ضرایب مجهول است. مقادیر ضرایب مجهول و همچنین پارامترهای موردنیاز جهت محاسبه ابعاد هیدروگراف‌ها، با استفاده از فرمول‌های مربوطه محاسبه، سپس ابعاد هیدروگراف واحد برای حوزه‌های مورد مطالعه محاسبه شد.

۲-۴- تهیه هیدروگراف با استفاده از روش‌های SCS و مثلثی: برای محاسبه هیدروگراف واحد با این روش‌ها، نیاز به محاسبه زمان بار موثر ( $\Delta D$ ) است تا بتوان زمان هیدروگراف را مشخص کرد. مقادیر  $\Delta D$  محاسبه‌شده برای حوزه‌های مورد مطالعه معرف کسلیان، کسلیان - شیرگاه، قرآن طالار و طالار به ترتیب ۰/۸، ۰/۲، ۱/۵ و ۲ ساعت است.

برای حوزه‌های مورد مطالعه، هیدروگراف واحد به ازای  $\Delta D$ ‌های به دست آمده برای هر حوزه محاسبه گردید. سپس هیدروگراف‌های  $\Delta D$  محاسبه شده، به هیدروگراف‌های واحد یک ساعته تبدیل شد.

۲-۵- تهیه هیدروگراف واحد سانتا‌باربارا: در مدل هیدروگراف سانتا‌باربارا، حوزه آبخیز را به

ترتیب ۲۴/۵۲، ۲۶/۴۸، ۲۷/۸۲، ۳۱/۷۹، ۳۰/۲۸ و ۲۱/۹۹ درصد و میانگین خطای نسبی زمان تا اوج برای این مدل‌ها به ترتیب ۳۳/۷۳، ۱۵/۲۶، ۹/۶۸، ۱۹/۴۳، ۱۶/۹۳ و ۱۵/۴۷ درصد است. بنابراین در این حوزه، مدل سانتاباربارا بهترین جواب را در برآورد دبی اوج سیلاب دارد.

۲- مقادیر میانگین خطای نسبی دبی اوج در حوزه کسلیان - شیرگاه برای مدل‌های کلارک، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتاباربارا به ترتیب ۲۳/۸۳، ۱۷/۲۹، ۳۷/۰۱، ۲۱/۹۶ و ۲۲/۱۱ درصد و میانگین خطای نسبی زمان تا اوج برای این مدل‌ها به ترتیب ۴۸/۳۵، ۲۹/۶۵، ۲۸/۱۲، ۲۸/۱۲ و ۲۸/۱۲ درصد است. بنابراین در این حوزه، مدل اشنایدر بهترین جواب را در برآورد دبی اوج سیلاب دارد و مقدار میانگین خطای نسبی زمان تا اوج نسبت به روش دیگر کمی بیشتر می‌باشد.

۳- مقادیر میانگین خطای نسبی دبی اوج در حوزه قرآن طالار برای مدل‌های کلارک، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتاباربارا به ترتیب ۱۱/۰۵، ۱۱/۱۱، ۲۶/۵۸، ۲۰/۴۲ و ۱۲/۱۶ درصد و میانگین خطای نسبی زمان تا اوج برای این مدل‌ها به ترتیب ۴۸/۱۵، ۲۹/۹۴، ۳۱/۲۱، ۳۲/۶۸ و ۴۵/۱۵ درصد است. بنابراین در این حوزه، مدل‌های کلارک و اشنایدر بهترین جواب را در برآورد دبی اوج سیلاب دارند و از بین این دو، مدل اشنایدر نسبت به مدل کلارک، دارای کمترین مقدار میانگین خطای نسبی زمان تا اوج است.

۴- مقادیر میانگین خطای نسبی دبی اوج در حوزه طالار برای مدل‌های کلارک، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتاباربارا به ترتیب ۲۷/۷۸، ۳۱/۹۰، ۲۸/۴۷، ۲۷/۷۲ و ۳۷/۱۷ درصد و میانگین خطای نسبی زمان تا اوج برای این مدل‌ها به ترتیب ۱۱۹/۶۵، ۴۹/۲۴، ۵۵/۴۸،

$RE_i$  = خطای نسبی در هر برآورد

$Q_{Po}$  = دبی اوج هیدروگراف مشاهده‌ای

$n$  = تعداد برآورد

$Q_{Pc}$  = دبی اوج هیدروگراف محاسبه‌ای

$RE_{QP}$  % = درصد خطای نسبی در برآورد و دبی اوج

$T_{PO}$  = زمان اوج هیدروگراف

$RE_{TP}$  % = درصد خطای نسبی در برآورد زمان اوج

$T_{PC}$  = زمان اوج هیدروگراف محاسبه‌ای

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SE_i$$

$$SE_i = (Q_{Oi} - Q_{Ci})^2$$

در این روابط:

$SE_i$  = مجموع مربع خطای بین ابعاد هیدروگراف

مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در هر فاصله زمانی

$n$  = تعداد برآورد

$Q_{Oi}$  = ابعاد هیدروگراف مشاهده‌ای و

$Q_{Ci}$  = ابعاد هیدروگراف محاسبه‌ای است.

به منظور بررسی کارایی مدل‌های موردنظر

با استفاده از فرمول‌های میانگین خطای نسبی، دبی پیک و زمان تا اوج و فرمول‌های میانگین توان دوم خطا، هیدروگراف‌های موردتحقیق در هر یک از حوزه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید.

## نتایج

نتایج مربوط به مقادیر میانگین خطای نسبی محاسبه‌شده در جداول ۲ - ۵ و مقادیر میانگین توان دوم خطا در جدول‌های ۶ - ۹ آورده شده است.

نتایج به دست آمده در حوزه‌های مورد مطالعه به قرار زیر است:

۱- مقادیر میانگین خطای نسبی دبی اوج

در حوزه معرف کسلیان برای مدل‌های کلارک، ناش، اشنایدر، SCS مثلثی و سانتاباربارا به

۶۶/۱۹ و ۴۱/۴۱ درصد است. بنابراین در این حوزه، مدل‌های کلارک و مثلثی بهترین جواب را در برآورد دبی اوج سیلاب دارند و از بین این دو

مدل مثلثی کمترین مقدار میانگین خطای نسبی زمان تا اوج نسبت به مدل کلارک دارا می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر میانگین خطای نسبی (MRE) دبی و زمان اوج در روش‌های مختلف برای وقایع انتخابی در حوزه معرف کسلیان

هیدروگراف	تاریخ	۵۱/۲/۱۴	۵۱/۶/۲۷	۵۲/۶/۱۵	۵۲/۷/۶	۵۳/۵/۹	۵۴/۷/۶	۶۵/۵/۱۴	۶۷/۶/۳۰	۶۷/۸/۲۹	۷۲/۳/۱۴	MRE
کلارک	$Q_p$	۹/۱۴۷	۱/۶۰	۷/۳۵۴	۱/۱۵۴	۱/۱۵۴	-/۸۸	۱/۵۸	۴/۰۰۴	۳/۶۱۴	۲/۱۹۷	-
	$REQ_p$	۲۲/۴۸	۳۸/۷۰	۴/۰۱۷	۲۹/۶۶	۲۹/۶۶	۲۶/۸۶	۱۵/۳۳	۳۶/۱۹	۳۰	۱۵/۶۳	۲۴/۵۲
	$T_p$	۷	۶	۱۱	۹	۹	۸	۸	۱۱	۸	۹	-
	$RET_p$	۷۵	۵۰	۱۰	۲۸/۵۷	۲۸/۵۷	۰	۱۴/۲۹	۳۷/۵	۶۰	۲۵/۵۷	۳۳/۳۳
ناش	$Q_p$	۱۰/۱۹	۱/۷۳۸	۵/۲۹۸	-/۴۸۱	-/۴۸۱	۱/۱۳۷	۱/۵۶	۴/۱۵۴	۳/۳۳۳	۱/۷۷۹	-
	$REQ_p$	۱۳/۶۴	۳۳/۳۴	۲۵/۰۶	۴۵/۹۶	۴۵/۹۶	۶۱	۱۳/۸۷	۴۱/۲۹	۱۹/۸۹	۶/۳۷	۳۶/۴۸
	$T_p$	۴	۲	۹	۷	۷	۸	۶	۶	۴	۷	-
	$RET_p$	۰	۵۰	۱۰	۰	۰	۰	۱۴/۲۹	۲۵	۲۰	۰	۱۵/۲۶
اشنایدر	$Q_p$	۸/۸۷	۱/۶۰۱	۷/۵۱۲	۱/۱۴۵	۲۲/۷۳	-/۸۸۶	۱/۵۳۶	۳/۸۰۸	۳/۴۴۷	۲/۰۹۳	-
	$REQ_p$	۲۵/۶۳	۳۸/۶۶	۶/۳۵	۸۰/۱۰	۲۸/۶۵	۱۸/۶۳	۱۶/۶۳	۲۹/۵۲	۲۳/۹۹	۱۰/۱۷	۳۷/۸۲
	$T_p$	۵	۳	۱۰	۷	۶	۶	۶	۹	۶	۷	-
	$RET_p$	۲۵	۰	۰	۰	۰	۲۵	۱۴/۲۹	۱۲/۵	۲۰	۰	۹/۶۸
SCS	$Q_p$	۱۰/۰۲	۱/۷۱۶	۷/۹۰۸	۱/۲۸۶	۲۶/۱۰	-/۹۹۴	۱/۷۷۶	۴/۳۳	۳/۹۹۷	۴۲۹۲	-
	$REQ_p$	۵۰	۳۲/۳۳	۱۰	۱۴/۲۹	۱۶/۶۷	۳۷/۵	۰	۱۲/۵	۲۰	۰	۹/۴۳
	$T_p$	۶	۴	۸/۱۲۹	۱/۱۹۷	۲۴/۳۳	-/۹۹۲	۱/۶۲۱	۴/۴۸۹	۳/۶۷۲	۲/۳۳۵	-
	$RET_p$	۵۰	۳۳/۳۳	۱۴/۹۸	۳۴/۴۹	۳۷/۱۴	۴۱/۷۱	۱۸/۳۲	۵۲/۱۹	۳۲/۰۹	۲۲/۸۹	۳۰/۲۸
مثلثی	$Q_p$	۹/۲۶	۱/۶۴۴	۸/۱۲۹	۱/۱۹۷	۲۴/۲۳	-/۹۹۲	۱/۶۲۱	۴/۴۸۹	۳/۶۷۲	۲/۳۳۵	-
	$REQ_p$	۲۱/۵۲	۳۷/۰۱	۱۴/۹۸	۳۴/۴۹	۳۷/۱۴	۴۱/۷۱	۱۸/۳۲	۵۲/۱۹	۳۲/۰۹	۲۲/۸۹	۳۰/۲۸
	$T_p$	۶	۴	۹	۸	۷	۷	۷	۹	۶	۷	-
	$RET_p$	۵۰	۳۳/۳۳	۱۰	۱۴/۲۹	۱۶/۶۷	۱۲/۵	۰	۱۲/۵	۲۰	۰	۱۶/۹۳
سانتاپارابارا	$Q_p$	۸/۲۶۵	۱/۶۰۴	۷/۰۵۱	۱/۱۳۲	۲۳/۶۱	-/۸۷۵	۱/۵۱۴	۳/۷۷۶	۳/۴۶۴	۲/۰۱۹	-
	$REQ_p$	۲۹/۹۵	۳۸/۵۶	-/۲۷	۲۷/۱۸	۲۹/۰۱	۲۵/۰۷	۱۰/۵۷	۲۸/۴۲	۲۴/۵۹	۶/۲۶	۲۱/۹۹
	$T_p$	۴	۲	۹	۶	۵	۵	۵	۸	۵	۶	-
	$RET_p$	۰	۳۳/۳۳	۱۰	۱۴/۲۹	۱۶/۶۷	۳۷/۵	۲۸/۵۷	۰	۰	۱۴/۲۹	۱۵/۴۷
مشاهده‌ای	$Q_p$	۱۱/۸	۲/۶۱	۷/۰۷	-/۸۹	۲۳/۲۶	-/۷	۱/۳۷	۲/۹۴	۲/۷۸	۱/۹	-
	$T_p$	۴	۳	۱۰	۷	۶	۸	۷	۸	۵	۷	-

۵- مقادیر میانگین توان دوم خطا در حوزه معرف کسپلیان برای مدل‌های کلارک، ناش، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتاباربارا به ترتیب ۲۵۶/۲۳، ۵۸/۰۰، ۴۵/۹۴، ۷۳/۴۵، ۷۰/۴۳ و ۴۲/۱۲ درصد است. بنابراین در این حوزه، مدل سانتاباربارا بهترین جواب را در برآورد ابعاد هیدروگراف دارد.

۶- مقادیر میانگین توان دوم خطا در حوزه کسپلیان - شیرگاه برای مدل‌های کلارک، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتاباربارا به ترتیب ۶۳۱۲/۴۸، ۵۷۱۴/۳۶، ۱۱۱۹۰/۲۸، ۸۲۵۵/۹۵ و ۷۰۸۶/۹۲ درصد است بنابراین در این حوزه، مدل اشنایدر بهترین جواب را در برآورد ابعاد هیدروگراف دارد.

جدول ۳- مقادیر میانگین خطای نسبی دبی و زمان اوج در روش‌های مختلف برای وقایع انتخابی در حوزه کسپلیان- شیرگاه

هیدروگراف	تاریخ	۶۶/۷/۱۶	۶۶/۸/۴	۶۷/۷/۸	۶۷/۷/۲۰	۷۱/۹/۵	۷۲/۲/۱۸	۷۲/۸/۲۲	۷۲/۱۰/۱۵	۷۵/۷/۹	۷۶/۸/۱۰	MRE
کلارک	$Q_p$	۱۰۳/۵	۴۹/۶۰	۵۲/۹۶	۴۱/۷۳	۱۱/۱۱	۶۲/۸۸	۱۱/۲۸	۱۷/۲۸	۵۶/۱۳	۱۲/۶۴	-
	$REQ_p$	۵۸/۳۱	۱۱/۷۴	۱۹/۵۸	۳/۷۰	۳/۷۳	۱/۴۲	۱۸/۸۶	۱۴/۳۶	۶۷/۶۵	۹/۹۱	۲۲/۸۲
	$T_p$	۱۹	۱۸	۱۷	۱۷	۱۶	۲۰	۱۶	۱۹	۱۷	۱۵	-
	$RET_p$	۵/۵۵	۱۲/۵	۲۱/۴۳	۱۸۳	۴۵/۴۵	۱۰۰	۶۰	۳۵/۷۱	۵/۵۶	۱۴/۴۹	۴۸/۳۵
اشنایدر	$Q_p$	۸۶/۱۲	۴۴/۱۱	۴۹/۱۱	۳۶/۱۹	۱۰/۶۳	۵۲/۹۷	۱۰/۰۱	۱۴/۲۲	۵۰/۰۲	۱۰/۱۳	-
	$REQ_p$	۳۱/۷۲	۱۰/۸۹	۱۰/۸۹	۴۱/۶۴	۰/۷۶	۱۴/۵۷	۵/۵۳	۵/۸۶	۴۹/۴۱	۱۱/۸۷	۱۷/۲۹
	$T_p$	۱۲	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۴	۱۰	۱۲	۹	۱۵	-
	$RET_p$	۳۲/۳۳	۴۰	۴۰	۵۰	۹/۰۹	۴۰	۰	۱۴/۲۹	۵۰	۲۸/۵۷	۲۹/۶۵
SCS	$Q_p$	۱۱۹/۴	۵۵/۱۷	۵۷/۸۸	۴۷/۰۹	۱۱/۹۴	۷۴/۳۸	۱۲/۲۲	۲۰/۶۲	۶۵/۲۳	۱۶/۵۴	-
	$REQ_p$	۸۲/۵۷	۲۴/۸	۲/۹۵	۲۴/۰۷	۱۱/۴۴	۱۹/۹۶	۲۹/۸۰	۳۶/۴۵	۹۴/۸۲	۴۳/۷۹	۳۷/۰۱
	$T_p$	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	۱۰	۱۴	۱۰	۱۳	۱۱	۱۵	-
	$RET_p$	۳۷/۷۸	۲۵	۲۱/۴۳	۸۳/۳۳	۹/۰۹	۴۰	۰	۷/۱۴	۳۸/۸۹	۲۸/۵۷	۲۸/۱۲
مثلثی	$Q_p$	۱۰/۱۷	۴۸/۰۹	۵۰/۵۷	۴۱/۱۳	۱۰/۸۰	۶۲/۰۳	۱۰/۸۶	۱۷/۱۷	۵۵/۰۹	۱۳/۰۶	-
	$REQ_p$	۵۵/۵۴	۸/۳۳	۱۴/۱۹	۳۳/۶۸	۰/۸۵	۰/۵۴	۱۴/۴۸	۱۳/۶۵	۶۴/۵۳	۱۳/۶	۲۱/۹۶
	$T_p$	۱۳	۱۲	۱۱	۱۱	۱۰	۱۴	۱۰	۱۳	۱۱	۱۵	-
	$RET_p$	۳۷/۷۸	۲۵	۲۱/۴۳	۸۳/۳۳	۹/۰۹	۴۰	۰	۷/۱۴	۸۳/۸۹	۲۸/۵۷	۲۸/۱۲
سانتاباربارا	$Q_p$	۷۷/۴	۳۷/۱۴	۳۹/۰۸	۳۱/۷۴	۸/۳۳	۴۴/۳۹	۸/۰۵	۱۲/۰۲	۴۱/۵۷	۹/۷۲۷	-
	$REQ_p$	۱۸/۴۱	۱۶/۳۳	۱۱/۷۷	۴۷/۷۱	۲۲/۲۳	۲۸/۴۱	۱۵/۱۸	۲۰/۳۸	۲۴/۱۶	۱۵/۴۲	۲۲/۱۱
	$T_p$	۷	۵	۴	۴	۳	۹	۴	۸	۵	۱۲	-
	$RET_p$	۶۱/۱۱	۶۸/۷۵	۷۱/۴۳	۳۳/۳۳	۷۲/۷۳	۱۰	۶۰	۴۲/۸۶	۷۲/۲۲	۴۲/۸۶	۵۲/۵۳
مشاهداتی	$Q_p$	۶۵/۳۸	۴۴/۳۹	۴۴/۳۹	۶۲/۰۱	۱۰/۷۱	۶۲	۹/۴۹	۱۵/۱۱	۳۳/۴۸	۱۱/۵	-
	$T_p$	۱۸	۱۶	۱۴	۶	۱۱	۱۰	۱۰	۱۴	۱۸	۲۱	-

۸- مقادیر میانگین توان دوم خطا در حوزه طالار برای مدل‌های کلارک، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتابارابرا به ترتیب ۱۴۶۷۱/۳۹، ۴۴۶۴/۰۴ و ۵۵۶۷/۶۹، ۵۲۲۰/۲۹ و ۵۵۶۶/۹۶ درصد است. بنابراین در این حوزه، مدل سانتابارابرا بهترین جواب را در برآورد ابعاد هیدروگراف دارد.

۷- مقادیر میانگین توان دوم خطا در حوزه قرآن طالار برای مدل‌های کلارک، اشنایدر، SCS، مثلثی و سانتابارابرا به ترتیب ۶۲۷۵/۲۰، ۳۱۰۷/۶۷، ۶۱۸۰/۲۴، ۵۹۹۲/۶۸ و ۵۰۳۱/۰۱۳ درصد است. بنابراین در این حوزه، مدل اشنایدر بهترین جواب را در برآورد ابعاد هیدروگراف دارد.

جدول ۴- مقادیر میانگین خطای نسبی دبی و زمان اوج در روش‌های مختلف برای وقایع انتخابی در

حوزه قرآن طالار

هیدروگراف	تاریخ	۷۴/۷/۲۱	۷۸/۷/۱۵	۷۵/۸/۲۱	۷۶/۲/۱۴	۷۶/۶/۲۲	۷۶/۷/۵	۷۶/۶/۲۰	۷۷/۹/۱۱	۷۷/۱۰/۲۸	۷۸/۴/۲۱	MRE
کلارک	$Q_p$	۵۷/۴۵	۳۰/۳۱	۷۱/۷۵	۲۹/۴۲	۱۷/۳۸	۲۲/۲۰	۲۵/۴۲	۱۳/۳۳	۴۲/۲۱	۱۰۱/۹	-
	$REQ_p$	۱۵/۵۹	۱۹/۸۰	۱۲/۸۷	۱/۳۷	۳/۶۶	۱۴/۸۱	۴/۹۹	۲۵/۷۸	۷/۶	۳/۸۷	۱۱/۰۵
	$T_p$	۱۲	۱۳	۱۳	۱۲	۱۶	۱۳	۱۱	۱۴	۲۵	۱۲	-
	$RET_p$	۳۳/۳۳	۲۰	۱۸/۱۸	۲۰	۱۰۰	۲۰	۸/۳۳	۷۵	۶۶/۶۷	۱۰۰	۴۸/۱۵
اشنایدر	$Q_p$	۵۸/۳۵	۱۱/۲۴	۷۰/۴۶	۳۰/۹۱	۱۷/۰۹	۲۲/۹۳	۲۵/۹۰	۱۳/۲۸	۴۵/۸۶	۱۰۱/۸	-
	$REQ_p$	۱۷/۴۱	۸	۱۰/۸۴	۳/۶۳	۵/۲۵	۱۲/۰۲	۶/۹۸	۲۵/۵۲	۱۴/۳۷	۳/۴	۱۱/۱
	$T_p$	۷	۲۰	۸	۷	۱۱	۸	۶	۹	۲۱	۷	-
	$RET_p$	۶۱/۱۱	۳۶/۱۳	۳۷/۳۷	۲۰	۳۷/۵	۲۰	۳۳/۳۳	۱۲/۵	۴۰	۱۶/۶۷	۲۹/۹۴
SCS	$Q_p$	۷۱/۱۰	۳۶/۱۳	۸۵/۶۸	۳۵/۹۵	۲۱/۴۹	۲۷/۱۶	۳۲/۲۵	۱۶/۵۲	۴۹/۷۷	۱۳۱/۴	-
	$REQ_p$	۴۳/۰۷	۴۴/۸	۳۴/۷۸	۲۰/۵۳	۱۹/۱۰	۴/۲۳	۳۲/۲۰	۸/۰۳	۲۴/۱۱	۳۳/۹۸	۲۶/۵۸
	$T_p$	۸	۹	۹	۸	۱۲	۱۰	۸	۱۰	۲۰	۹	-
	$RET_p$	۵۵/۵۵	۱۰	۱۸/۱۸	۲۰	۵۰	۰	۵۰	۲۵	۳۳/۳۳	۵۰	۳۱/۲۱
مثلثی	$Q_p$	۶۶/۰۰	۳۴/۴۶	۸۱/۷۴	۳۴/۲۹	۲۰/۳۷	۲۵/۶۶	۲۸/۸۷	۱۵/۲۸	۴۹/۵۲	۱۱۷/۱	-
	$REQ_p$	۳۲/۸۱	۳۶/۲۱	۲۸/۷۴	۱۴/۹۵	۱۲/۹۲	۱/۵۳	۱۹/۲۵	۱۴/۹۴	۲۳/۴۹	۱۹/۳۶	۲۰/۴۲
	$T_p$	۷	۹	۹	۷	۱۲	۸	۷	۹	۲۰	۹	-
	$RET_p$	۶۶/۱۱	۱۰	۱۸/۱۸	۲۰	۵۰	۲۰	۴۱/۶۷	۱۲/۵	۳۳/۳۳	۵۰	۳۲/۶۸
سانتابارابرا	$Q_p$	۵۱/۸۳	۲۷/۸۳	۶۶/۰۸	۲۶/۴۱	۱۶/۲۳	۱۹/۷	۲۶/۶۲	۱۲/۱۲	۴۱/۳۷	۸۶/۷۳	-
	$REQ_p$	۴/۲۹	۱۰	۳/۹۵	۱۱/۴۶	۱۰/۰۳	۲۴/۱۶	۱۰/۷۰	۳۲/۵۲	۲/۹۲	۱۱/۵۹	۱۲/۱۶
	$T_p$	۴	۵	۵	۳	۹	۵	۵	۶	۱۸	۸	-
	$RET_p$	۷۷/۷۸	۵۰	۵۴/۵۵	۷۰	۱۲/۵	۵۰	۵۸/۳۳	۲۵	۲۰	۳۳/۳۳	۴۵/۱۵
مشاهده‌ای	$Q_p$	۴۹/۷	۲۵/۳	۶۳/۵۷	۲۹/۸۳	۱۸/۰۴	۲۶/۰۶	۲۴/۲۱	۱۷/۹۶	۴۰/۱۰	۹۸/۱	-
	$T_p$	۱۸	۱۰	۱۱	۱۰	۸	۱۰	۱۲	۸	۱۵	۶	-



۹- هیدروگراف واحد شهری سانتاباربارا به نقطه اوج می‌رسد، برای حوزه‌های کوچک که به دلیل اینکه نسبت به سایر هیدروگراف‌ها سریع زمان تمرکز کمتری ندارند، مدل مناسبی است.

جدول ۵- مقادیر میانگین خطای نسبی دبی و زمان اوج در روش‌های مختلف برای وقایع انتخابی در

## حوزه طالار

هیدروگراف	تاریخ	۷۰/۲/۱۴	۷۳/۷/۷	۷۳/۷/۲۳	۷۳/۹/۵	۷۴/۷/۲۲	۷۹/۷/۱۵	۷۵/۷/۲۵	۷۵/۸/۲۱	۷۶/۸/۹	۷۶/۱۰/۲۸	MRE
کلارک	$Q_p$	۲۱/۸۲	۲۹/۲۲	۵۳/۱۸	۴۶/۳۷	۲۱/۱۸	۳۰/۵۷	۲۲/۵۴	۶۰/۲۸	۸/۸۷۱	۲۸/۵۲	-
	$REQ_p$	۲۰/۹۷	۳۸/۹۵	۳۱/۹۳	۳۱/۰۲	۱۴/۴۱	۱۰/۵۶	۳۲/۷۲	۳/۵۲	۴۴/۳۸	۴۹/۴۰	۳۷/۷۸
	$T_p$	۱۶	۱۶	۱۷	۱۶	۱۷	۱۷	۱۶	۱۶	۲۰	۱۶	-
	$RET_p$	۱۶۶۶	۳۰۰	۱۱۲/۵	۱۰۰	۱۵	۷۰	۱۲۸/۶	۶۰	۲۳۲/۳	۱۱/۱۱	۱۱۹/۶
اشنایدر	$Q_p$	۱۹/۵۸	۳۵/۵۲	۴۷/۱۸	۳۸/۱	۲۸/۲۱	۲۷/۹۳	۲۰/۲۰	۵۴/۴۱	۷/۹۲۲	۲۵/۸۲	-
	$REQ_p$	۲۹/۰۸	۴۵/۰۲	۳۹/۶۲	۴۳/۳۳	۲۲/۵۷	۱/۰۱۳	۳۹/۷۱	۱۳/۰۵	۵۰/۳۳	۳۵/۲۵	۳۱/۹۰
	$T_p$	۱۰	۸	۱۱	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۰	۱۳	۱۰	-
	$RET_p$	۶۶/۶۷	۱۰۰	۳۷/۵	۲۵	۴۵	۰	۵۷/۱۴	۰	۱۱۶/۷	۴۴/۴۴	۴۹/۲۴
SCS	$Q_p$	۲۱/۴۷	۳۸/۴۱	۵۳/۶۸	۴۵/۸۰	۳۰/۹۶	۳۲/۳۳	۲۲/۹۹	۶۰/۲۰	۹/۵۱۴	۲۸/۸۳	-
	$REQ_p$	۲۲/۲۴	۴۰/۳۱	۳۱/۲۹	۳۱/۸۷	۱۵/۰۲	۱۶/۹۳	۳۱/۹۹	۳/۸۱	۴۰/۳۵	۵۱/۰۲	۲۸/۴۷
	$T_p$	۱۰	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۴	۱۰	-
	$RET_p$	۶۶/۶۷	۱۵۰	۳۷/۵	۲۵	۴۵	۱۰	۴۲/۸۶	۰	۱۳/۳	۴۴/۴۴	۵۵/۴۸
منشی	$Q_p$	۲۱/۹۰	۳۹/۳۴	۵۴/۳۶	۴۵/۵۲	۳۰/۸۲	۳۱/۲۷	۲۳/۱۰	۶۰/۴۴	۹/۱۳۵	۲۸/۴۹	-
	$REQ_p$	۲۰/۶۷	۳۸/۶۶	۳۰/۵۶	۳۲/۲۷	۱۵/۳۹	۱۳/۰۶	۳۱/۰۵	۳/۴۳	۴۲/۷۳	۴۹/۲۴	۳۷/۷۲
	$T_p$	۱۱	۱۱	۱۲	۱۱	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	۱۵	۱۱	-
	$RET_p$	۸۳/۲۲	۱۷۵	۵۰	۳۷/۵	۴۰	۲۰	۵۷/۱۴	۱۰	۱۵۰	۳۸/۸۹	۶۶/۱۹
سانتاباربارا	$Q_p$	۱۷/۳۹	۳۱/۲۴	۴۱/۰۸	۳۶/۲۸	۲۳/۸۰	۲۳/۵۲	۱۷/۸۱	۴۵/۸۵	۷/۱۶۷	۲۱/۳۴	-
	$REQ_p$	۳۷/۰۰	۵۱/۳۷	۴۷/۴۲	۴۵/۸۹	۳۴/۶۷	۱۴/۹۲	۴۶/۸۳	۲۶/۷۳	۵۵/۰۷	۱۱/۷۷	۳۷/۱۷
	$T_p$	۴	۴	۶	۴	۵	۷	۵	۵	۹	۵	-
	$RET_p$	۳۳/۳۳	۰	۲۵	۵۰	۷۵	۳۰	۲۸/۵۷	۵۰	۵۰	۲۷/۲۲	۴۱/۴۱
مشاهداتی	$Q_p$	۲۷/۶۱	۶۴/۲۴	۷۸/۱۲	۷۸/۲۲	۳۶/۴۲	۲۷/۶۵	۳۳/۵	۶۲/۵۸	۱۵/۹۵	۱۹/۰۹	-
	$T_p$	۶	۴	۸	۸	۲۰	۱۰	۷	۱۰	۶	۱۸	-

جدول ۶- مقادیر میانگین توان دوم خطاهای هیئروکرافهای محاسبه شده (MSE) با روش‌های مختلف در حوزة معرف کسپیلان

تاریخ	۵۱/۲/۱۴	۵۱/۶/۲۷	۵۲/۶/۱۵	۵۲/۷/۶	۵۳/۵/۹	۵۴/۷/۶	۶۵/۵/۱۴	۶۷/۶/۳۰	۶۷/۸/۲۹	۷۲/۳/۱۴	MSE
کلرک	۲۵۸/۱۶۷	۹/۰۷۹۹۹۵	۱۲/۹۱۱۵۸	۰/۹۴۱۷۰۵	۲۳۰۹/۰۶۵	۰/۲۴۵۳۲۵	۱/۳۹۶۳۴۲	۴۲/۴۷۹۱۲	۲۲/۹۷۴۹۱	۵/۰۵۱۱۳	۲۵۶/۲۳۱۲
ناش	۴۲/۹۵۲۲۵	۲/۵۲۴۴۳۳	۳۹/۴۵۳۹۸	۰/۸۴۴۶۸۷	۴۷۶/۸۳۳۹	۱/۹۰۸۵۱۹	۱/۵۰۷۳۸۴	۹/۴۷۸۸۷	۲/۵۷۱۴۵۱	۰/۹۵۰۲	۵۸/۰۰۱
اشنایدر	۳۳/۰۲۹۲۵	۱/۹۶۳۷۰۸	۴/۸۲۰۴۴	۰/۵۵۵۰۲	۳۹۵/۷۸۷۳	۱/۲۱۶۳۷۱	۰/۶۷۵۸۶۲	۱۵/۸۰۵۸۷	۲/۳۳۵۳	۲/۲۲۸۲۱۲	۴۵/۹۴۱۷۷
SCS	۷۸۶۶۴	۲/۴۵۵۲۲۲	۱۵/۳۹۸۳۳	۰/۹۶۸۸۱۷	۶۰۹/۰۷۳۹	۱/۲۲۸۷	۰/۶۷۵۸۶۲	۲۲/۳۶۸۰۹	۱۰/۱۳۰۸۵	۴/۵۵۸۳۵	۷۳/۴۴۷۲
مثلی	۵۵/۸۳۵۶۸	۲/۵۷۹۳۳۷	۳۷/۷۷۹۷۲	۱/۰۴۱۰۴	۵۵۰/۵۸۸۵	۱/۲۲۸۹۳۳۶	۲۱/۱۵۰۱۷	۲۱/۱۵۰۰۷	۸/۰۷۸۰۹۵	۴/۷۳۹۶۱	۷۰/۴۳۳۳
سانتباربارا	۲۴/۲۸۰۰۹	۳/۶۸۴۴۴۶	۴۰/۳۶۶۰۶	۱/۰۷۸۱۶۷	۳۳۵/۹۸۹۹	۱/۷۴۱۵۵۱	۱/۶۹۰۴۷	۸/۴۹۰۴۱	۱/۴۳۵۷۰۳	۲/۴۵۴۸۶	۴۲/۱۲۱

جدول ۷- مقادیر میانگین توان دوم خطاهای هیئروکرافهای محاسبه شده (MSE) با روش‌های مختلف در حوزة کسپیلان - شیرکاه

تاریخ	۶۶/۷/۱۶	۶۶/۸/۴	۶۷/۷/۸	۶۷/۷/۳۰	۷۱/۹/۵	۷۲/۲/۱۸	۷۲/۸/۲۳	۷۲/۱۰/۱۵	۷۵/۷/۹	۷۶/۸/۱۰	MSE
کلرک	۸۴۹۱/۳۸۲	۱۴۰۰۵/۲۸۷	۵۶۸/۳۰۶۲	۲۴۵۴۵/۴۶	۲۸۵/۰۰۰۳	۲۱۲۲۱۲/۷	۲۹۰/۴۸۷۹	۱۴۴۶/۵۰۱	۶۶۴۴/۹۸۲	۲۳۳/۳۶۵	۶۳۱۲/۴۷۹
اشنایدر	۱۹۶۰۷/۲۳	۴۴۷۰/۹۱۲	۹۴۱۶/۸۰۴	۱۱۳۱۵/۸۵	۱۸۳/۲۵۷۱	۶۳۲۶/۹۰۹	۱۲۵/۷۷۶	۳۸۵/۹۲۳۶	۵۰۰۷۶/۱۵۲	۲۳۴/۶۴۶	۵۷۱۴/۳۶
SCS	۴۷۲۵۲/۳۳	۶۱۸۷/۳۳۴	۱۲۴۳۶/۵۸	۱۵۹۵۴/۵۸	۱۵۳/۷۰۹	۱۲۴۳۵/۳۴	۱۵۸/۵۳۶۸	۶۹۵/۰۵۹۹	۱۵۷۷۰/۲۸	۵۸۶/۱۲۳	۱۱۱۹۰/۲۸
مثلی	۴۰۲۵۵/۳	۳۶۹۰/۸۸۸	۱۰۴۶۳/۳۸	۱۰۰۸۵۸/۵۵	۳۰۰/۰۷۸۸۹	۳۴۳۳۳/۵۸۷	۳۰۰/۳۰۳۸	۱۵۵۳/۹۸۶۲	۱۲۴۱۹/۳۰	۱۹۶/۵۳۸۶	۸۲۵۵/۹۵
سانتباربارا	۲۳۰۹۶/۷۷	۶۹۱۴/۲۴۴	۱۳۲۲۶/۰۰	۱۳۳۱/۳۳۶	۳۷۴/۳۱۱۱	۳۴۷۱/۷۳۱	۳۳۳/۸۴۳۴	۳۴۴/۳۴۴	۷۴۵۸/۰۰۶	۳۱۱/۱۴۸۲	۷۰۸۶/۹۲

جدول ۸- مقادیر میانگین توان دوم خطاهای هیدروگرافهای محاسبه شده (MSE) با روشهای مختلف در حوزة قرآن طالار

تاریخ	۷۴/۷/۲۱	۷۵/۷/۱۵	۷۵/۷/۲۱	۷۶/۳/۱۴	۷۶/۶/۲۲	۷۶/۷/۱۵	۷۶/۷/۲۵	۷۷/۶/۲۰	۷۷/۹/۲۸	۷۷/۹/۲۸	۷۸/۴/۲۱	MSE
کلازک	۱۱۷۶۰/۳۲	۲۱۸۵۰/۰۶	۶۷۰/۰۶۳	۵۸۰/۲۰۷۸۱	۶۱۱/۷۷۱۲	۵۵۷/۰۱	۲۲۵/۷۸۷۲۲	۲۲۵/۷۸۷۲۲	۲۲۵/۷۸۷۲۲	۲۲۵/۷۸۷۲۲	۲۲۵/۷۸۷۲۲	۲۲۵/۷۸۷۲۲
اشنایدر	۲۲۳۳۳/۳۷	۱۳۲۲۲/۷۰۶	۲۷۴/۷۷۴۶	۶۶۶/۷۱۱۱	۸۰۵/۳/۲۱۹	۷۵۳/۶/۳۶	۲۴۳/۰۴۳۱	۲۴۳/۰۴۳۱	۲۴۳/۰۴۳۱	۲۴۳/۰۴۳۱	۲۴۳/۰۴۳۱	۲۴۳/۰۴۳۱
SCS	۶۷/۶۷۹۶۶	۳۳۳۳/۶۶۸	۱۹۸/۶۷۹۳۷	۶۷۰/۶۱۸	۷۸۱/۸۶۷	۶۷۰/۶/۳۵	۲۸۰/۳۶۵	۲۸۰/۳۶۵	۲۸۰/۳۶۵	۲۸۰/۳۶۵	۲۸۰/۳۶۵	۲۸۰/۳۶۵
مثلی	۲۲۹۶۶	۴۳۳/۳۶۵	۱۶۸/۳۱۰۷	۲۱۳۱/۸۰۵	۳۳۳۰/۷۵۸	۵۶۷۳/۳۶۵	۳۰۳/۶۳۳۲	۳۰۳/۶۳۳۲	۳۰۳/۶۳۳۲	۳۰۳/۶۳۳۲	۳۰۳/۶۳۳۲	۳۰۳/۶۳۳۲
سانتباربارا	۶/۶۷۳/۶۱	۸۰۱۰/۲۸۶	۲۶/۲۶۸۰۱	۲۲۱/۶۳۸۶	۶۸۰/۶۳	۱۷۵/۲۳۱	۲۶۶/۱۶۱	۲۶۶/۱۶۱	۲۶۶/۱۶۱	۲۶۶/۱۶۱	۲۶۶/۱۶۱	۲۶۶/۱۶۱
تاریخ	۷۴/۷/۲۱	۷۵/۷/۱۵	۷۵/۷/۲۱	۷۶/۳/۱۴	۷۶/۶/۲۲	۷۶/۷/۱۵	۷۶/۷/۲۵	۷۷/۶/۲۰	۷۷/۹/۲۸	۷۷/۹/۲۸	۷۸/۴/۲۱	MSE

جدول ۹- مقادیر میانگین توان دوم خطاهای هیدروگرافهای محاسبه شده (MSE) با روشهای مختلف در حوزة طالار

تاریخ	۷۰/۲/۱۴	۷۳/۷/۷	۷۳/۷/۲۳	۷۳/۹/۸	۷۴/۷/۲۲	۷۵/۷/۸	۷۵/۷/۲۵	۷۶/۸/۷	۷۶/۸/۲۸	۷۷/۱۰/۲۸	MSE
کلازک	۴۵۵۰/۹۰۵	۸۷/۵/۱۷۷۸	۲۰۳/۷۲۸۲۳	۳۸/۸۷۴۹۲	۳۵۷۷/۵۰۸	۶۷۷/۸۷۵۸	۶۷۷/۸۷۵۸	۶۳/۵۶۶۸۱	۶۳/۵۶۶۸۱	۶۳/۵۶۶۸۱	۶۳/۵۶۶۸۱
اشنایدر	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱	۶۲/۶۷۸۶۱
SCS	۳۲۲/۰۱۵۱	۱/۱۳۴۸۱	۷/۷۷۳۱۱	۸۳۳/۱۹۰۹	۶۸/۷۸۳۳	۳۳۷۷/۶۸	۳۳۷۷/۶۸	۳۳۷۷/۶۸	۳۳۷۷/۶۸	۳۳۷۷/۶۸	۳۳۷۷/۶۸
مثلی	۵۶۰/۷۸۱	۷۶/۰۶۷۸۱	۶۰/۶۸۶۳۱	۷۳/۵۳۶۰۱	۸۷۷/۸۷۲۳	۸۸۳۱/۸۷	۸۸۳۱/۸۷	۸۸۳۱/۸۷	۸۸۳۱/۸۷	۸۸۳۱/۸۷	۸۸۳۱/۸۷
سانتباربارا	۶۶۶/۷۱۶	۶۹۱/۳۰۱۷	۱۲/۳۳۷۲۱	۵۵۵/۵۶۸	۶۸۷/۱۱۱۳	۸۷۸/۶۳۵	۶۸۷/۰۵۸۱	۶۸۷/۰۵۸۱	۶۸۷/۰۵۸۱	۶۸۷/۰۵۸۱	۶۸۷/۰۵۸۱
تاریخ	۷۰/۲/۱۴	۷۳/۷/۷	۷۳/۷/۲۳	۷۳/۹/۸	۷۴/۷/۲۲	۷۵/۷/۸	۷۵/۷/۲۵	۷۶/۸/۷	۷۶/۸/۲۸	۷۷/۱۰/۲۸	MSE

## بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج به‌دست آمده و مقایسه آن با تحقیقات صورت گرفته، می‌توان گفت:

۱- ژیتو (۱۹۹۱) در تحقیقی که انجام داد، از بین هیدروگراف‌های سانتاباربارا، SCS، تابع گاما و اشنايدر، برای حوزه‌های کوچک و شهری هیدروگراف سانتاباربارا برای حوزه‌های بزرگ هیدروگراف SCS را پیشنهاد کرده است. در این تحقیق، برای حوزه‌های کوچک، هیدروگراف سانتاباربارا، برای حوزه‌های بزرگتر هیدروگراف اشنايدر، مثلثی و کلارک هیدروگراف‌های مناسب تشخیص داده شدند.

۲- عباسی (۱۳۷۱) در تحقیقی که در حوزه معرف کسلیان بر روی هیدروگراف‌های SCS، اشنايدر و مثلثی انجام داده است، مناسب‌ترین هیدروگراف را برای این حوزه

هیدروگراف اشنايدر معرفی کرد. در تحقیق حاضر، مناسب‌ترین هیدروگراف برای این حوزه، هیدروگراف سانتاباربارا می‌باشد.

۳- بهادری خسروشاهی (۱۳۷۰) تحقیقی بر روی کارایی هیدروگراف‌های SCS، مثلثی و اشنايدر در حوزه آبخیز رودخانه جاجرود با مساحت ۴۲۶ کیلومتر مربع انجام داد نتایج تحقیقات وی نشان داد که روش اشنايدر مناسب‌ترین روش در برآورد دبی پیک در این حوزه است.

براساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، درحوزه‌های معرف کسلیان، کسلیان - شیرگاه و قرآن طالار به ترتیب با مساحت‌های ۶۷/۷۸، ۳۴۱ و ۴۰۳ کیلومتر مربع، از بین سه روش SCS، اشنايدر و مثلثی، روش اشنايدر مناسب‌ترین روش محسوب می‌شود.

## منابع

- ۱- بهادری خسروشاهی، فیروز، ۱۳۷۰. بررسی قابلیت به‌کارگیری هیدروگراف واحد در تعیین سیلاب‌ها، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، ۲۲۹-۲۰۶.
- ۲- رضایی، علی، ۱۳۷۳. تعیین هیدروگراف‌های واحد سنتیتیک و طبیعی در تعدادی از حوزه‌های آبخیز کوچک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۳- حشمت‌پور، علی، ۱۳۷۸. بررسی کارایی آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژیک و ژئومرفوکلیماتیک در حوزه آبخیز معرف کسلیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۴- عباسی، علی‌اکبر، ۱۳۷۱. تهیه و کالیبراسیون مدل کامپیوتری برآورد رواناب برای حوزه‌های کوچک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف.
- ۵- علیپور، توماج، امید، ۱۳۷۹. بررسی کاربرد هیدروگراف‌های واحد مصنوعی در تجزیه و تحلیل سیلاب‌ها در حوزه‌های آبخیز شمال کشور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- مقدم‌نیا، علیرضا، ۱۳۷۶. بررسی مقایسه‌ای زمان تمرکز، زمان تاخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب براساس روش‌های تجربی و تجزیه هیدروگراف در دو منطقه آب و هوایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۷- مهدوی، محمد، ۱۳۷۷. هیدرولوژی کاربردی، جلد‌های اول و دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

- ۸- نجمایی، محمد، ۱۳۶۸. هیدرولوژی مهندسی، جلد دوم، انتشارات سارا.
- 9-Chih, H.W., 1995. Rainfall-runoff modeling of Dowan Creek Watershed. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*. Vol. 4:279-292.
- 10-Chow, V.T., 1964. *Handbook of applied hydrology*. Mc-Graw-Hill, New York.
- 11-Ghioto, R.D., 1991. Runoff hydrograph computation methods, A paper for stormwater management: A deisgner course at Clarion Plaza Hotel.
- 12-Mutreja, K.N., 1990. *Applied hydrology*, Published by Tata Mc Graw-Hill.
- 13-Rosso, R., 1984. Nash model relation to Horton order ratio. *Journal of Water Resource* Vol. 20 (7):914-920.
- 14-Wanielista, M.P., 1990. *Hydrology and water quantity control*. Published simultaneously in Canada.
- 15-Wilson, B.N. & J.W. Brwon, 1992. Development and evaluation of a dimensionless unit hydrograph. *Journal of Water Resources Bulletin*, Vol. 20 (7):914-920.

## A Study of the Application of Artificial Unit for Analyzing the Floods of Watershed Basins in North of Iran

Gh.R. Zehtabian<sup>1</sup> O.Ali Pour Tumaj<sup>2</sup> M.Vafakhah<sup>3</sup>

### Abstract

A watershed is considered as a system consisting of different interrelated hydrologic units that reacts to rainfall. Since dimensions of runoff hydrograph are quantitative indices that represent the basin's reaction to rainfall, therefore recognizing the relation between rainfall and runoff is of high importance in hydrology. To investigate the effectiveness of Clark, Nash, Snyder, SCS, Triangular and Santa Barbara unit hydrographs in estimating runoff hydrograph, four basins namely;Kasilian, Kasilian- Shirgah, Gharan Talar, and Talar with areas of 67.78, 341, 403, and 1772 km<sup>2</sup> respectively, were chosen in north of Iran. In these basins, 10 pairs of rainfall- runoff events were chosen and the runoff hydrograph of each basin was assessed. A comparison of the estimated hydrographs of studied models with observed hydrographs showed that in Kasilian basin, Santa Barbara model had the least amounts of mean relative and square error. In Kasilian-shirgah and Gharan Talar basins, Snyder model had the least amounts of mean relative and square error. In Talar basin, the Triangular model had the least mean relative error while, Santa Barbara model had the least amount of square error.

**Keywords:** Clark, Nash, Santa Barbara urban, SCS, Triangular and Snyder unit hydrographs

---

<sup>1</sup> - Assoc. Prof., Natural Resources Faculty of Tehran University

<sup>2</sup> - Senior Expert in Watershed Management

<sup>3</sup> -Faculty Member, Natural Resources Faculty of Tarbiat-e-Modarres University