

## ارزیابی کارایی روش ژئومورفولوژی در برآورد ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای و مقایسه آن با روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جنگ کارده)

علی گلکاریان<sup>۱\*</sup> - سید امیر نقیعی<sup>۲</sup> - داود داودی مقدم<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۱۶

### چکیده

یکی از مهم‌ترین اهداف در مطالعات هیدرولوژیکی، برآورد کمی فرایند بارش-رواناب در حوزه آبخیز است. روش‌ها و مدل‌های متعددی به‌منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب ساخته شده‌اند که هر یک مزایا و معایب خود را دارد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی کارایی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی<sup>۴</sup> (GIUH) در تهیه هیدروگراف سیلاب و مقایسه‌ی عملکرد آن با مدل‌های اشنایدر<sup>۵</sup> (SCS) و مثلثی است. به‌منظور اجرای روش‌های مذکور، اطلاعات بارش و رواناب مربوط به ۱۴ رخداد گردآوری گردید و هیدروگراف مستقیم به‌دست آمد. با توجه به شاخص‌های آماری MAE، RMSE و ضریب ناش-ساتکلایف، مقایسه‌ی هیدروگراف‌های مشاهده‌ی و برآوردی نشان داد که روش GIUH کارآمدترین مدل در برآورد دبی اوج بوده و بعد از آن روش‌های مثلثی، SCS و اشنایدر دارای مراتب بعدی هستند. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌ترتیب روش‌های اشنایدر، GIUH، مثلثی و SCS دارای بیشترین کارایی در برآورد زمان تا اوج هستند. علاوه بر این نتایج بیان‌گر کم برآوردی روش‌های GIUH و مثلثی در برآورد دبی اوج و بیش برآوردی روش اشنایدر و کم برآوردی روش GIUH در برآورد زمان تا اوج می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هیدروگراف واحد، ژئومورفولوژی، اشنایدر، SCS، مثلثی

### مقدمه

می‌باشد. هیدروگراف واحد علاوه بر تخمین دبی اوج قادر به ساخت هیدروگراف سیل نیز می‌باشد (۸). اشنایدر در سال ۱۹۳۸ با مطالعه بر روی حوزه‌های کوهستانی آمریکا با مساحت‌های ۳۰ تا ۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع، هیدروگراف واحد استاندارد را ارائه کرد. ماکوس در سال ۱۹۵۷ با بررسی اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا در حوزه‌های مختلف هیدروگراف بی‌بعد را ارائه نمود. روش هیدروگراف واحد بی‌بعد مثلثی با توجه به هیدروگراف واحد بی‌بعد ساخته شد (۱۴). در سال ۱۹۷۹ مفهوم GIUH برای اولین بار توسط رودریگز ایتورب و والدرس ارائه شد. نتایج بررسی‌های آنها نشان داد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک تابعی از پارامترهای ثابت ژئومورفولوژیک و پارامتر دینامیکی سرعت جریان است (۱۹). گوپتا و همکاران (۱۲) مدل GIUH را به عنوان تابع چگالی احتمال زمان پیمایش آب در حوزه تفسیر نمودند. در این روش فرض می‌شود بارش موثر مسیرهای مختلف محتمل در آبراهه و سطح حوزه را طی می‌نماید تا به خروجی حوزه برسد (۱۸). به‌علت تنوع شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی در حوزه‌های آبخیز، تحقیقات متعددی در سطح ایران و جهان به‌منظور ارزیابی کارایی

یکی از مشکلات اساسی در زمینه پیش‌بینی سیلاب، نبود داده‌های هیدرولوژی و اقلیمی در اغلب حوزه‌های آبخیز کشور است. از طرفی تعیین دبی اوج سیلاب و حجم سیلاب‌ها کمک زیادی به مدیریت بلایای طبیعی می‌نماید و در طراحی و ساخت سازه‌های کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا از سال‌ها پیش محققین تلاش نمودند ویژگی‌های فیزیکی، ژئومورفولوژی، بارش حوزه‌های آبخیز را با پاسخ هیدرولوژیک حوزه ارتباط داده و نتایج تحقیقات خود را در قالب مدل‌های برآورد هیدروگراف واحد ارائه نمایند. هیدروگراف واحد، یک هیدروگراف شاخص برای حوزه است که ارتفاع رواناب مربوط به آن برابر یک واحد بوده و مربوط به بارش مازاد در یک زمان مشخص

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

\* - نویسنده مسئول: (Email: Golkarian@um.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

3-Geomorphological instantaneous unit hydrograph  
4- Soil Conservation Service

اشنایدر در برآورد دبی اوج نسبت به دیگر روش‌های ذکر شده بود. جهانگیر و همکاران (۳) به شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مقایسه با مدل HEC-HMS در حوزه معرف کارده پرداختند. بر اساس نتایج این تحقیق، شبکه عصبی مصنوعی در برآورد پارامترهای دبی اوج، زمان اوج و حجم رواناب عملکرد بهتری نسبت به مدل HEC-HMS داشت. مصطفی‌زاده و بهره‌مند (۱۳) به ارزیابی کارایی مدل مخازن خطی Nash در شبیه‌سازی آب‌نمود جریان در آبخیز جعفرآباد استان گلستان پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل مخزن خطی Nash دقتی بالا در برآورد ویژگی‌های آب‌نمود جریان در آبخیز جعفرآباد داشت. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۲) به بررسی کارایی مدل کلارک برای تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی پرداختند. براساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، دقت بالایی در برآورد مؤلفه‌های هیدروگراف جریان ندارد و به‌عبارتی فقط پارامتر زمان تا اوج و دبی اوج را با دقت قابل قبول برآورد می‌کند. همچنین صادقی و اسدی (۵) در تحقیقی به بررسی اهمیت زمان پیمایش بین خطوط هم‌زمان تمرکز در دقت و تخمین سیلاب از آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل کلارک در شبیه‌سازی آب‌نمود واحد به‌طور کلی از کارایی بالایی برخوردار بود. بهره‌مند و مصطفی‌زاده (۳) در پژوهشی به مقایسه‌ی کارایی روش‌های تخمین پارامترهای مدل Nash در حوزه آبخیز جعفرآباد پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، روش ممان‌ها به‌عنوان بهترین روش در برآورد پارامترهای مدل Nash تعیین شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده توسط محمدی و احمدی (۱۰) در حوزه آبخیز کن، روش ژئومرفولوژی برآورد بهتری نسبت به روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی در تخمین هیدروگراف سیلاب داشت.

با شرحی اجمالی بر نتایج تحقیقات انجام شده در مورد اعتبار، حساسیت، کارایی و محدودیت روش‌های مختلف برآورد هیدروگراف واحد، نیاز به انجام تحقیقات و پژوهش‌های بیشتر در این زمینه مشهود است. لذا هدف از این پژوهش بررسی دقت، صحت و درجه اطمینان مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی و مقایسه آن با روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی به منظور شناسایی مناسب‌ترین روش برآورد هیدروگراف واحد برای حوزه‌های آبخیز فاقد آمار با شرایط مشابه حوزه آبخیز جنگ می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

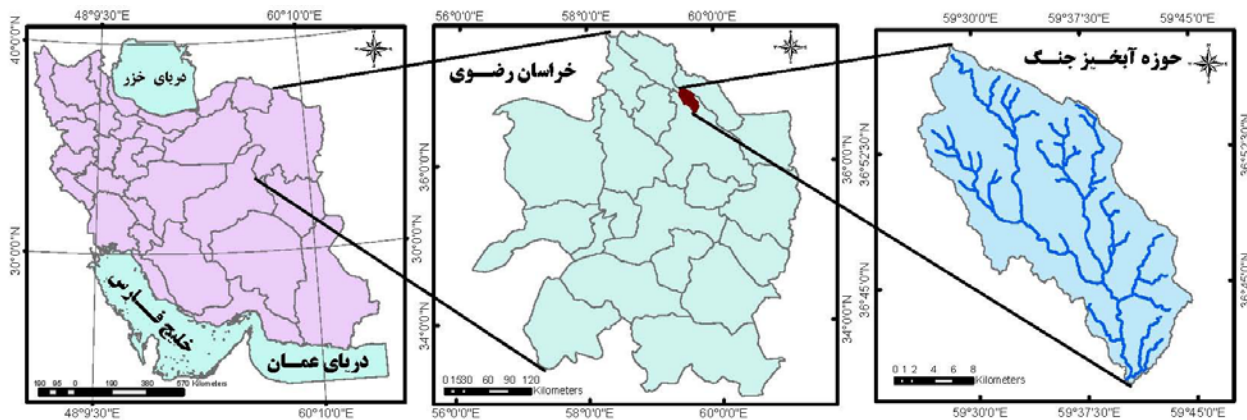
حوزه آبخیز جنگ با مساحت ۴۴۷/۶ کیلومتر مربع، یکی از زیر حوزه‌های سد کارده در خراسان رضوی به‌شمار می‌رود و در فاصله‌ی ۴۵ کیلومتری شمال شهر مشهد قرار دارد.

روش‌های استنتاج هیدروگراف واحد انجام شده است. رینتجس و همکاران (۲۳) در کشور ویتنام اقدام به بررسی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی نمودند. طبق نتایج به‌دست آمده مدل مذکور نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده از کارایی بیشتری برخوردار بود. سارانگی و همکاران (۲۶) در سال ۲۰۰۸ به مقایسه روش‌های GIUH و CN<sup>۱</sup> پرداختند. طبق نتایج حاصله روش ژئومرفولوژی در حوزه‌های آبخیز کوچک با ویژگی‌های ژئومرفولوژی مشابه از صحت بیشتری برخوردار بود. بهادرا و همکاران (۱۵) به بررسی کارایی روش GIUH در حوزه‌ی آبخیزی در هندوستان پرداختند و نتایج را رضایت‌مند ابراز نمودند. بهانیا و همکاران (۱۶) در تحقیقی به بررسی کارایی روش‌های تخمین هیدروگراف واحد پرداختند. در این تحقیق کارایی روش‌های Taylor، Snyder، Schwarz، SCS و همچنین توابع توزیع احتمال از قبیل Gray، Gamma و Beta مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، توابع توزیع احتمال کارایی بالایی در تخمین شکل آب‌نمود واحد داشتند. خالقی و همکاران (۲۰) به بررسی کارایی مدل GIUH و GCIUH<sup>۲</sup> در برآورد هیدروگراف واحد لحظه‌ای و مقایسه نتایج آن با روش‌های اشنایدر، SCS، مثلثی و ROSSO و هیدروگراف مشاهده‌ای پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده روش‌های GIUH و GCIUH در برآورد دبی اوج و زمان تا اوج هیدروگراف دارای بیشترین صحت بودند. گنی و همکاران (۱۷) به بررسی چند مدل هیدروگراف واحد مبتنی بر توزیع آماری Beta پرداختند که بر اساس نتایج به‌دست آمده، کارایی مدل‌های مورد استفاده مناسب بود.

رحیمیان و زارع (۴) به مقایسه روش‌های ژئومرفولوژیک، اشنایدر، بی‌بعد و مثلثی پرداختند و بر اساس نتایج به‌دست آمده، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی دارای انطباق بیشتری با هیدروگراف مشاهده‌ای بود. عرفانیان (۶) در حوزه‌ی آبخیز جزین سمنان به بررسی کارایی روش‌های ژئومرفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و بی‌بعد در برآورد هیدروگراف واحد پرداخت و پس از مقایسه هیدروگراف‌های برآوردی با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای، روش ژئومرفولوژیک را به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی نمود. غیائی و روغنی (۹) به بررسی و مقایسه کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی با روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی در حوزه کسلیان پرداختند. طبق نتایج آماری به‌دست آمده روش GIUH از سایر روش‌ها کارایی کمتری داشت و هیدروگراف GIUH نوع گاما از سایر روش‌ها دارای کارایی بیشتری بوده است. برخوردار و همکاران (۱) به بررسی کارایی مدل کلارک و مقایسه آن با روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی پرداختند. نتایج حاصله بیانگر کارایی بیشتر روش

1- Curve Number

2- Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز جنگ

از طریق تجزیه باران نگار و آبنمود رگبار مربوطه و به روش سعی و خطا استفاده شد. اطلاعات مربوط به رخدادهای بارش-رواناب مورد نظر در جدول ۱ ارائه گردیده است.

**هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی GIUH:** برای اجرای مدل GIUH ابتدا نقشه‌ی رقومی توپوگرافی حوزه آبخیز جنگ از سازمان جغرافیایی کشور با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS 9.3، مقادیر کمی هر یک از پارامترهای ژئومرفولوژیک حوزه آبخیز جنگ از قبیل مساحت، طول آبراهه با بالاترین رتبه حوزه و شیب رودخانه اصلی تعیین و نسبت انشعاب (RB)، نسبت طول (RL) و نسبت مساحت (RA) برآورد گردید که پارامترهای مذکور در جدول شماره ۲ ارائه شده است. در رتبه‌بندی آبراهه‌ها از روش استرالر به عنوان مبنای استفاده گردید (۱۴). به منظور محاسبه‌ی نسبت انشعاب، نسبت طول و نسبت مساحت از روابط ۱ تا ۳ استفاده گردید.

$$R_B = N_u / N_{u+1} \quad (1)$$

$$R_L = L_u / L_{u-1} \quad (2)$$

$$R_A = A_u / A_{u-1} \quad (3)$$

این آبخیز در طول جغرافیایی ۵۹°۲۶'۱۱" تا ۵۹°۴۴'۴۶" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶°۳۹'۲۳" تا ۳۶°۵۸'۲۱" شمالی واقع شده است. ارتفاع حداکثر و حداقل حوزه به ترتیب ۲۹۸۰ و ۱۲۵۰ بوده، ارتفاع متوسط حوزه ۲۰۰۴ متر است. متوسط بارش در حوزه مذکور بین ۳۷۵ میلی‌متر در جنوب تا ۴۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال حوزه متغیر است. شکل ۱ موقعیت حوزه مورد نظر را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد (۷).

### روش تحقیق

به منظور استخراج اطلاعات بارش و دبی هم‌زمان سیلاب، از آمارهای بارش و دبی سیلابی موجود در ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری جنگ استفاده شد. از میان اطلاعات موجود تعداد ۱۴ رویداد بارش-رواناب که با توجه به آمار دمای منطقه، ذوب برف نقشی در ایجاد آنها نداشت، انتخاب شدند. آب پایه به‌روش خط افقی از هیدروگراف حذف شد و هیدروگراف رواناب مستقیم به‌دست آمد. به‌منظور تعیین ارتفاع بارش مازاد از شاخص فی استفاده شد (۱۴). برای تعیین متوسط تلفات بارش از شاخص فی ( $\phi$ -Index) و

جدول ۱- تعداد و تاریخ وقایع هر یک از رویدادهای انتخاب شده در حوزه آبخیز جنگ

| شماره رویداد | تاریخ رویداد | ارتفاع بارش موثر (mm) | مدت زمان بارش موثر (h) | شدت بارش موثر (mm/h) | شماره رویداد | تاریخ رویداد | ارتفاع بارش موثر (mm) | مدت زمان بارش موثر (h) | شدت بارش موثر (mm/h) |
|--------------|--------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------|--------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| ۱            | ۷۱/۰۳/۰۱     | ۰/۲۸                  | ۱                      | ۰/۲۸                 | ۸            | ۸۶/۰۱/۰۸     | ۰/۴۹                  | ۱                      | ۰/۴۹                 |
| ۲            | ۷۱/۱۱/۱۵     | ۰/۱۳                  | ۱                      | ۰/۱۳                 | ۹            | ۸۸/۰۱/۲۲     | ۰/۱۰                  | ۲                      | ۰/۰۵                 |
| ۳            | ۷۱/۱۲/۱۸     | ۰/۳۱                  | ۳                      | ۰/۱۰                 | ۱۰           | ۸۸/۰۲/۲۲     | ۰/۷۳                  | ۱                      | ۰/۷۳                 |
| ۴            | ۷۴/۱۲/۱۸     | ۰/۱۱                  | ۲                      | ۰/۰۶                 | ۱۱           | ۸۸/۰۳/۰۶     | ۰/۹۸                  | ۲                      | ۰/۴۹                 |
| ۵            | ۸۱/۰۸/۱۲     | ۰/۰۴                  | ۳                      | ۰/۰۱                 | ۱۲           | ۸۸/۰۶/۲۵     | ۲/۰۴                  | ۳                      | ۰/۶۸                 |
| ۶            | ۸۵/۰۴/۱۰     | ۰/۱۳                  | ۲                      | ۰/۰۷                 | ۱۳           | ۸۹/۰۴/۰۱     | ۰/۸۴                  | ۱                      | ۰/۸۴                 |
| ۷            | ۸۵/۱۲/۲۵     | ۰/۸۱                  | ۱                      | ۰/۸۱                 | ۱۴           | ۸۹/۰۲/۱۶     | ۰/۲۶                  | ۲                      | ۰/۱۳                 |

جدول ۲- پارامترهای ژئومرفولوژیک محاسبه شده برای حوزه جنگ

| رتبه<br>آبراهه | تعداد<br>آبراهه | متوسط<br>طول آبراهه<br>(Km) | متوسط مساحت<br>آبخیز بالادست<br>آبراهه<br>(Ha) | طول آبراهه اصلی<br>از ورودی تا<br>خروجی<br>(Km) | فاصله آبراهه اصلی از<br>خروجی تا مرکز ثقل<br>حوزه<br>(Km) | شیب متوسط<br>اراضی حوزه<br>(%) | پارامترهای<br>ژئومرفولوژیک حوزه |
|----------------|-----------------|-----------------------------|--|---|---|--------------------------------|---------------------------------|
| ۱              | ۳۵۹             | ۰/۸۸                        | ۷۹/۷۲  |   |   |                                | RB= ۳/۴۰۴                       |
| ۲              | ۷۶              | ۲/۰۲                        | ۳۴۹/۵۵   |   |   |                                |                                 |
| ۳              | ۱۹              | ۳/۳۸                        | ۱۱۵۸/۰۱  |   |   |                                |                                 |
| ۴              | ۵               | ۱۰/۹۵                       | ۶۶۵۵/۶۲  | ۴۶/۷۳   | ۱۹/۴۷   | ۳۷/۷۸                          | RA= ۳/۷۲۶                       |
| ۵              | ۲               | ۸/۰۸                        | ۱۷۳۵۵/۸۱                                       |   |   |                                |                                 |
| ۶              | ۱               | ۲۰/۱۵                       | ۴۴۷۶۶/۰۰                                       |   |   |                                | RL= ۲/۰۸۳                       |

ساعت می‌باشد. زمان پایه هیدروگراف  $t_b$  در این روش با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$q_p \cdot t_b = 2 \quad (10)$$

در نهایت به منظور اجرای روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی از منابع هم‌چون مهدوی (۱۴) و غلیزاده (۸) استفاده گردید.

#### آنالیزهای آماری

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف، برای بررسی تشابه روش‌های مورد استفاده و داده‌های مشاهده‌ای از آزمون  $t$  مستقل و برای تعیین مناسب‌ترین مدل در مورد هر کدام از پارامترهای مورد بررسی از شاخص‌های آماری ضریب ناش-ساتکلیف<sup>۱</sup>، میانگین خطای مطلق ( $MAE^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE^2$ )، میانگین خطای بایاس ( $MBE^2$ ) و ضریب تبیین  $R^2$  استفاده شد. آماره‌های مورد نظر از طریق مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده برای هر پارامتر و از طریق روابط ذیل قابل محاسبه می‌باشد (جدول ۸).

$$NSC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_p)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_p)^2} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Q_o - Q_p|}{Q_o} \quad (12)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_p)^2 \right]^{0.5} \quad (13)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_p - Q_o)}{n} \quad (14)$$

در این روابط  $n$  تعداد مشاهدات،  $Q_o$  داده‌های مشاهده‌ای،  $Q_p$  میانگین داده‌های مشاهده‌ای و  $Q_p$  داده‌های برآوردی مربوط به هر پارامتر می‌باشد.

که  $N_u$  تعداد آبراهه‌های با رتبه  $u$ ،  $L_u$  طول آبراهه‌های با رتبه  $u$  و  $A_u$  مساحت آبراهه‌های با رتبه  $u$  می‌باشد.  $N_{u+1}$  تعداد آبراهه‌های با رتبه  $u+1$ ،  $L_{u+1}$  تعداد آبراهه‌های با رتبه  $u-1$  و  $A_{u-1}$  مساحت آبراهه‌های با رتبه  $u-1$  می‌باشد.

سپس به منظور تعیین سرعت جریان برای رویدادهای انتخاب شده از رابطه پارامتر موج جنبشی که توسط رودریگز-ایتورب (۲۵) ارائه شده است، استفاده گردید. پارامتر موج جنبشی در روابط ۴ و ۵ توضیح داده شده است.

$$V_{\Omega} = 0.665 \alpha_{\Omega}^{0.6} (I_r A)^{0.4} \quad (4)$$

$$\alpha_{\Omega} = S_{\Omega}^{0.5} / n B^{2/3} \quad (5)$$

در این رابطه  $V_{\Omega}$  سرعت جریان برحسب متر بر ثانیه،  $I_r$  شدت بارش بر حسب سانتی‌متر بر ساعت،  $A$  مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع،  $S_{\Omega}$  شیب آبراهه اصلی در خروجی حوزه بر حسب متر بر متر،  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $B$  عرض جریان در خروجی حوزه می‌باشد. به منظور محاسبه دبی حداکثر لحظه‌ای از روابط ۶ و ۷ استفاده شد (۲۴).

$$q_p = 1.31 / L_{\Omega} [R_L^{0.43} V] \quad (6)$$

که  $L_{\Omega}$  طول آبراهه با بزرگترین رتبه ( $km$ )،  $V$  سرعت اوج بر حسب ( $m/s$ ) در نظر گرفته شده است.  $q_p$  دبی اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی بر حسب ( $hr^{-1}$ ) می‌باشد.

$$Q_p = q_p / 3600 * \frac{ir}{100} * A \quad (7)$$

$Q_p$  دبی اوج هیدروگراف خروجی ( $m^3/s$ )،  $q_p h^{-1}$  ارتفاع بارش موثر ( $cm$ ) و  $A$  مساحت حوزه به ( $m^2$ ) می‌باشد.

زمان تا اوج هیدروگراف با استفاده از روابط ۸ و ۹ بدست می‌آید.

$$t_p = \frac{0.441 \Omega (R_B)}{V} R_L^{0.55} R_L^{-0.38} \quad (8)$$

$$T_p = t_p + 0.75 t_r \quad (9)$$

که  $t_p$  زمان تا اوج به ساعت،  $R_B$  نسبت انشعاب،  $R_A$  نسبت مساحت،  $t_r$  زمان بارش موثر ( $h$ ) و  $T_p$  زمان تا اوج هیدروگراف خروجی به

- 1- Nash- Sutcliffe
- 2- Mean Absolute Error
- 3- Root Mean Square Error
- 4- Mean Bias Error

## نتایج و بحث

در تحقیق حاضر ۱۴ رویداد بارش-رواناب مربوط به سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۹ که ذوب برف در ایجاد آنها نقش نداشت، انتخاب شد. مطابق روش تحقیق پس از محاسبه عوامل مورد نیاز، مدل‌ها اجرا شدند. نتایج حاصل از برآورد هیدروگراف سیلاب بوسیله روش ژئومرفولوژی در جدول شماره ۳، نتایج سایر روش‌ها در جدول شماره

۴ و نحوه برازش تمامی روش‌ها بر داده‌های مشاهده‌ای در شکل ۲ ارائه گردید.

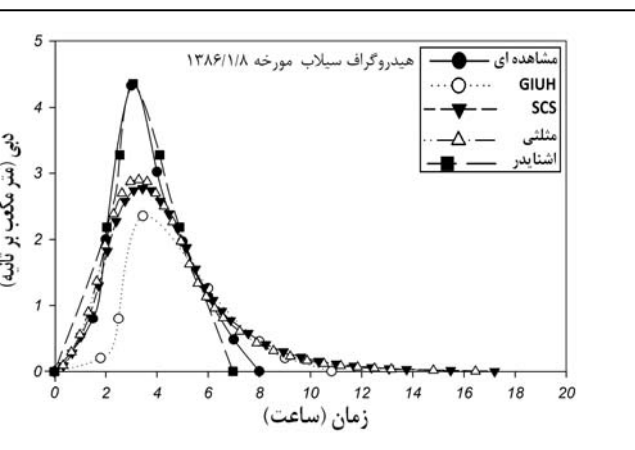
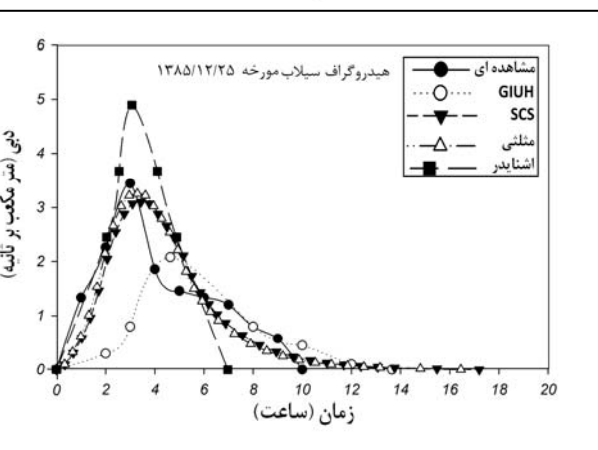
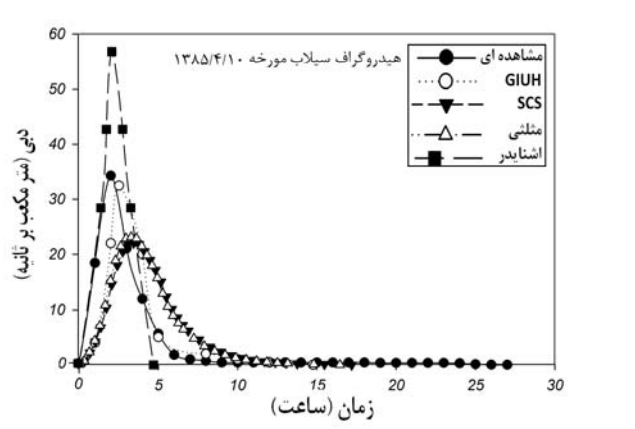
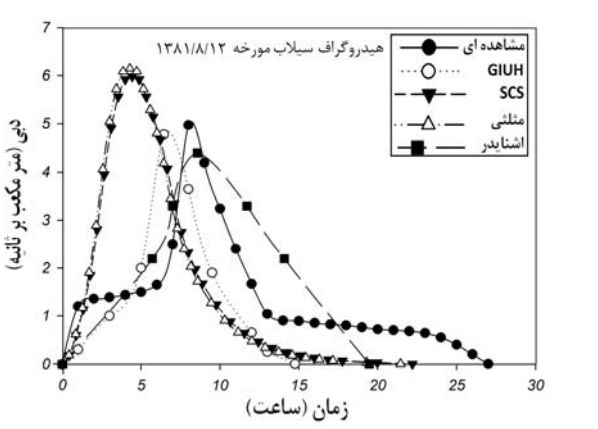
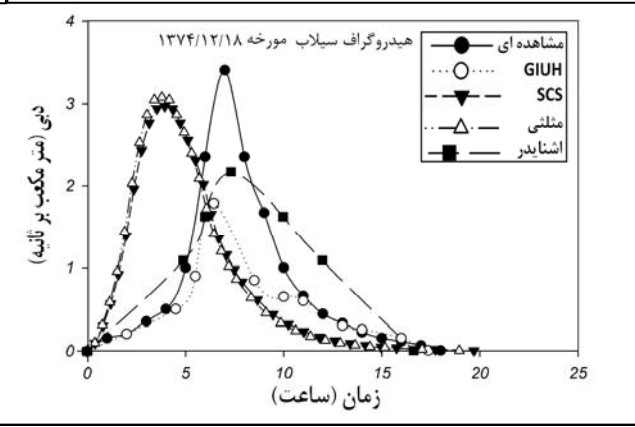
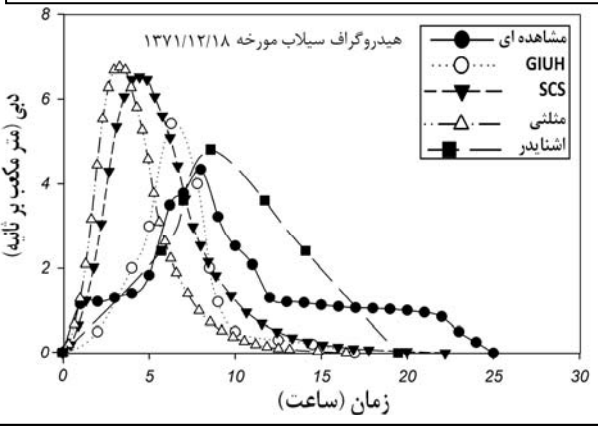
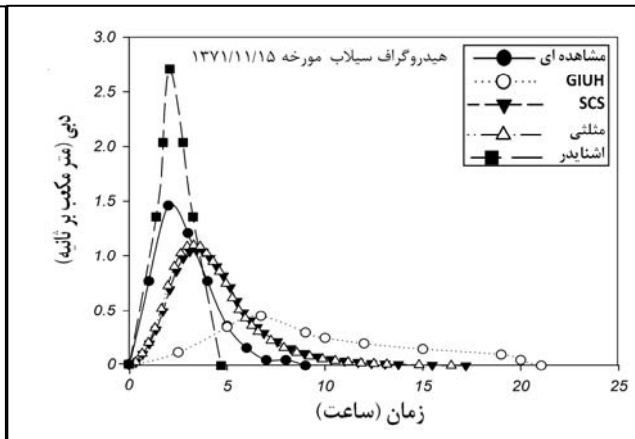
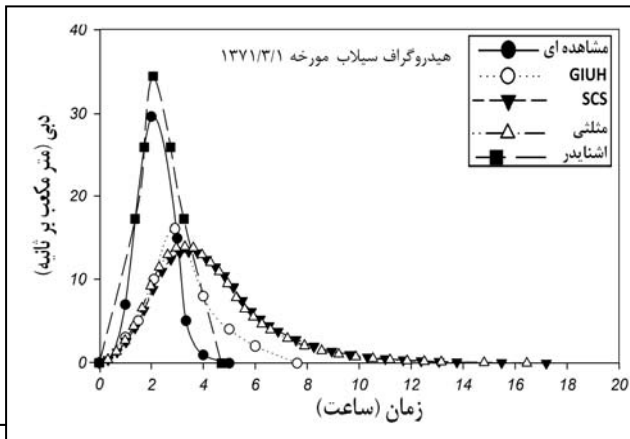
برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف استفاده گردید. بر اساس این آزمون که نتایج آن در جدول ۵ آمده است داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند.

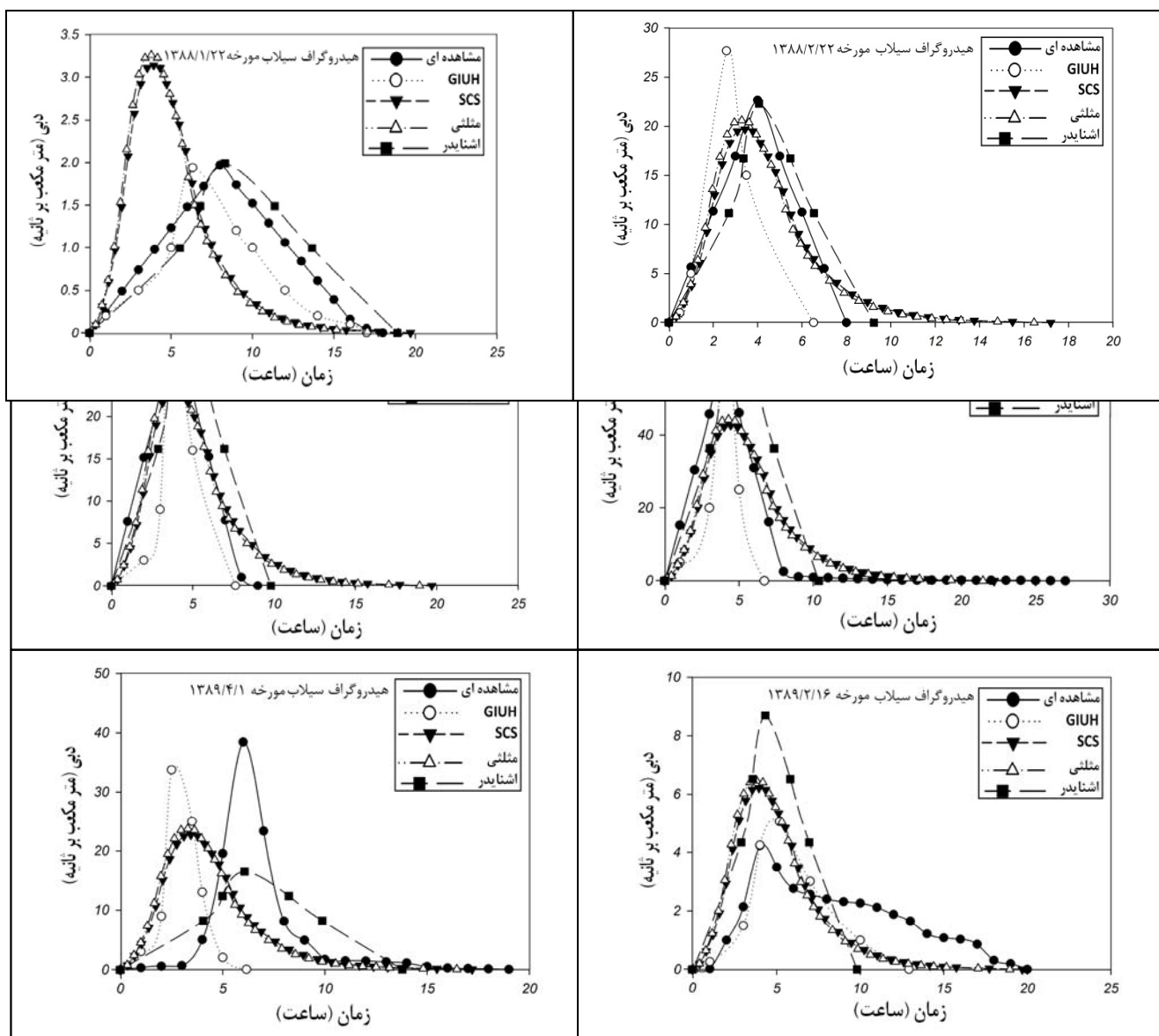
جدول ۳- پارامترهای محاسبه شده در روش GIUH

| GIUH      |           |                           |                          | V (m/s) | تاریخ    | شماره |
|-----------|-----------|---------------------------|--------------------------|---------|----------|-------|
| $T_p$ (h) | $t_p$ (h) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /s) | $q_p$ (h <sup>-1</sup> ) |         |          |       |
| ۲/۹۱      | ۲/۱۶      | ۱۶/۱۲                     | -/۴۶                     | ۲/۹۲    | ۷۱/۰۳/۰۱ | ۱     |
| ۶/۷۳      | ۵/۹۸      | ۰/۴۵                      | -/۰۹                     | ۱/۰۵    | ۷۱/۱۱/۱۵ | ۲     |
| ۶/۲۹      | ۴/۰۴      | ۵/۴۱                      | -/۱۴                     | ۱/۵۶    | ۷۱/۱۲/۱۸ | ۳     |
| ۶/۴۴      | ۴/۹۴      | ۱/۷۹                      | -/۱۱                     | ۱/۲۸    | ۷۴/۱۲/۱۸ | ۴     |
| ۶/۴۴      | ۴/۱۹      | ۴/۷۷                      | -/۱۳                     | ۱/۵۰    | ۸۱/۰۸/۱۲ | ۵     |
| ۲/۵۳      | ۱/۷۷      | ۳۲/۴۴                     | -/۳۲                     | ۳/۵۷    | ۸۵/۰۴/۱۰ | ۶     |
| ۴/۳۶      | ۳/۸۸      | ۲/۰۸                      | -/۱۴                     | ۱/۶۳    | ۸۵/۱۲/۲۵ | ۷     |
| ۳/۴۵      | ۳/۰۷      | ۲/۳۵                      | -/۱۸                     | ۲/۰۵    | ۸۶/۰۱/۰۸ | ۸     |
| ۶/۳۳      | ۴/۸۳      | ۱/۹۴                      | -/۱۱                     | ۱/۳۱    | ۸۸/۰۱/۲۲ | ۹     |
| ۲/۶۰      | ۱/۸۵      | ۲۷/۶۷                     | -/۳۰                     | ۳/۴۱    | ۸۸/۰۲/۲۲ | ۱۰    |
| ۳/۶۷      | ۲/۱۷      | ۳۱/۹۰                     | -/۲۶                     | ۲/۹۱    | ۸۸/۰۳/۰۶ | ۱۱    |
| ۴/۱۵      | ۱/۹۰      | ۷۵/۵۰                     | -/۲۹                     | ۳/۲۳    | ۸۸/۰۶/۲۵ | ۱۲    |
| ۲/۵۰      | ۱/۷۵      | ۳۳/۷۹                     | -/۳۲                     | ۳/۶۱    | ۸۹/۰۴/۰۱ | ۱۳    |
| ۵/۱۷      | ۳/۶۷      | ۵/۰۶                      | -/۱۵                     | ۱/۷۲    | ۸۹/۰۲/۱۶ | ۱۴    |

جدول ۴- مقادیر دبی اوج و زمان تا اوج محاسبه شده در روش‌های اشنایدر، بی‌بعد و مثلثی

| روش SCS   |                           | روش مثلثی |                           | روش اشنایدر |                           | مشاهده‌ای |                           | تاریخ سیلاب | شماره سیلاب |
|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-------------|---------------------------|-----------|---------------------------|-------------|-------------|
| $T_p$ (h) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /s) | $T_p$ (h) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /s) | $T_p$ (h)   | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /s) | $T_p$ (h) | $Q_p$ (m <sup>3</sup> /s) |             |             |
| ۳/۴۴      | ۱۳/۳۸                     | ۳/۲۹      | ۱۳/۹۹                     | ۲/۰۶        | ۳۴/۵۲                     | ۲         | ۲۹/۶۴                     | ۷۱/۰۳/۰۱    | ۱           |
| ۳/۴۴      | ۱/۰۵                      | ۳/۲۹      | ۱/۱۰                      | ۲/۰۶        | ۴/۶۹                      | ۲         | ۱/۴۶                      | ۷۱/۱۱/۱۵    | ۲           |
| ۴/۴۴      | ۶/۵۱                      | ۴/۲۹      | ۶/۷۴                      | ۸/۵۶        | ۴/۸۰                      | ۸         | ۴/۳۴                      | ۷۱/۱۲/۱۸    | ۳           |
| ۳/۹۴      | ۲/۹۷                      | ۳/۷۹      | ۳/۰۸                      | ۷/۳۱        | ۲/۱۷                      | ۷         | ۳/۴۰                      | ۷۴/۱۲/۱۸    | ۴           |
| ۴/۴۴      | ۵/۹۴                      | ۴/۲۹      | ۶/۱۵                      | ۸/۵۶        | ۴/۳۹                      | ۸         | ۴/۹۷                      | ۸۱/۰۸/۱۲    | ۵           |
| ۳/۴۴      | ۲۲/۰۵                     | ۳/۲۹      | ۲۳/۰۶                     | ۲/۰۶        | ۵۶/۸۷                     | ۲         | ۳۴/۲۷                     | ۸۵/۰۴/۱۰    | ۶           |
| ۳/۴۴      | ۳/۱۰                      | ۳/۲۹      | ۳/۲۵                      | ۳/۰۶        | ۴/۸۹                      | ۳         | ۳/۴۴                      | ۸۵/۱۲/۲۵    | ۷           |
| ۳/۴۴      | ۲/۷۷                      | ۳/۲۹      | ۲/۹۰                      | ۳/۰۶        | ۴/۳۶                      | ۳         | ۴/۳۳                      | ۸۶/۰۱/۰۸    | ۸           |
| ۳/۴۴      | ۳/۱۴                      | ۳/۷۹      | ۳/۲۶                      | ۷/۳۸        | ۱/۹۸                      | ۸         | ۱/۹۷                      | ۸۸/۰۱/۲۲    | ۹           |
| ۳/۴۴      | ۱۹/۶۸                     | ۳/۲۹      | ۲۰/۵۸                     | ۴/۰۶        | ۲۲/۳۰                     | ۴         | ۲۲/۶۵                     | ۸۸/۰۲/۲۲    | ۱۰          |
| ۳/۹۴      | ۲۳/۱۹                     | ۳/۷۹      | ۲۴/۱۱                     | ۴/۳۱        | ۳۲/۳۷                     | ۴         | ۳۰/۳۵                     | ۸۸/۰۳/۰۶    | ۱۱          |
| ۴/۴۴      | ۴۲/۷۶                     | ۴/۲۹      | ۴۴/۲۵                     | ۴/۵۶        | ۷۲/۷۲                     | ۴         | ۶۰/۹۷                     | ۸۸/۰۶/۲۵    | ۱۲          |
| ۳/۴۴      | ۲۲/۷۱                     | ۳/۲۹      | ۲۳/۷۴                     | ۶/۰۶        | ۱۶/۴۸                     | ۶         | ۳۸/۴۵                     | ۸۹/۰۴/۰۱    | ۱۳          |
| ۳/۹۴      | ۶/۲۲                      | ۳/۷۹      | ۶/۴۷                      | ۴/۳۱        | ۸/۶۹                      | ۴         | ۴/۲۳                      | ۸۹/۰۲/۱۶    | ۱۴          |





شکل ۲- نحوه برازش روش‌های مورد مطالعه بر داده‌های مشاهده‌ای

جدول ۵- نتایج آزمون نیکویی برازش به روش کولموگراف-اسمیرنوف

|                                  |                | One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test |        |        |        |            |
|----------------------------------|----------------|------------------------------------|--------|--------|--------|------------|
|                                  |                | Observed                           | GIHU   | Snyder | SCS    | Triangular |
| N                                |                | ۱۴                                 | ۱۴     | ۱۴     | ۱۴     | ۱۴         |
| Normal Parameters <sup>a,b</sup> | Mean           | ۱۷/۴۶۲                             | ۱۷/۲۳۳ | ۱۹/۳۷۳ | ۱۲/۵۳۳ | ۱۳/۰۴۸     |
|                                  | Std. Deviation | ۱۸/۶۵۳                             | ۲۱/۲۵۶ | ۲۲/۳۰۴ | ۱۲/۰۵۳ | ۱۲/۵۱۳     |
|                                  | Absolute       | ۰/۳۲۰                              | ۰/۲۸۲  | ۰/۲۵۵  | ۰/۲۶۳  | ۰/۲۶۴      |
| Most Extreme Differences         | Positive       | ۰/۳۲۰                              | ۰/۲۸۲  | ۰/۲۵۵  | ۰/۲۶۳  | ۰/۲۶۴      |
|                                  | Negative       | -۰/۱۹۵                             | -۰/۲۱۵ | -۰/۲۱۸ | -۰/۱۷۰ | -۰/۱۷۰     |
| Kolmogorov-Smirnov Z             |                | ۱/۱۹۷                              | ۱/۰۵۷  | ۰/۹۵۶  | ۰/۹۸۳  | ۰/۹۸۹      |
| Asymp. Sig. (2-tailed)           |                | ۰/۱۱۴                              | ۰/۲۱۴  | ۰/۳۲۰  | ۰/۲۸۸  | ۰/۲۸۲      |

a. Test distribution is Normal.

جدول ۶- نتایج آزمون t مستقل برای دبی اوج روش‌های ژئومرفولوژی، اشنایدر، بی‌بعد و مثلثی

| روش‌های مورد بررسی | t-test for Equality of Means |                      |               |                 |
|--------------------|------------------------------|----------------------|---------------|-----------------|
|                    | F                            | Std.Error Difference | Sig(2-tailed) | Mean Difference |
| ژئومرفولوژی        | ۰/۰۱۶                        | ۷/۵۵                 | ۰/۹۷۶         | -۰/۲۲           |
| اشنایدر            | ۰/۱۲۵                        | ۷/۷۷                 | ۰/۸۰۸         | -۱/۹۱           |
| بی‌بعد             | ۴/۵۳۷                        | ۵/۹۳                 | ۰/۴۱۴         | ۴/۹۲            |
| مثلثی              | ۳/۸۶۹                        | ۶/۰۰                 | ۰/۴۶۹         | ۴/۴۱            |

جدول ۷- نتایج آزمون t مستقل برای زمان تا اوج روش‌های ژئومرفولوژی، اشنایدر، بی‌بعد و مثلثی

| روش‌های مورد بررسی | t-test for Equality of Means |                      |               |                 |
|--------------------|------------------------------|----------------------|---------------|-----------------|
|                    | F                            | Std.Error Difference | Sig(2-tailed) | Mean Difference |
| ژئومرفولوژی        | ۲/۳۴۴                        | ۰/۷۵۷                | ۰/۸۹۴         | -۰/۱۰۲          |
| اشنایدر            | ۰/۰۴۷                        | ۰/۹۰۱                | ۰/۷۸۹         | -۰/۲۴۳          |
| بی‌بعد             | ۳۰/۴۷۱                       | ۰/۶۲۶                | ۰/۱۷۲         | ۰/۸۸۱           |
| مثلثی              | ۳۰/۸۳۱                       | ۰/۶۲۶                | ۰/۱۲۴         | ۰/۹۹۵           |

جدول ۸- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای روش‌های مورد مطالعه

| روش برآورد  | پارامتر                            | شاخص‌های ارزیابی مدل |                |      |      |        |
|-------------|------------------------------------|----------------------|----------------|------|------|--------|
|             |                                    | NASH-Sutcliffe       | R <sup>2</sup> | RMSE | MAE  | MBE    |
| ژئومرفولوژی | Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s) | ۰/۹۴۳                | ۰/۹۳           | ۵/۷۱ | ۳/۵۱ | -۰/۲۳  |
|             | T <sub>p</sub> (h)                 | ۰/۸۶۷                | ۰/۳۱           | ۱/۸۸ | ۱/۴۳ | -۰/۱۰۲ |
| اشنایدر     | Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s) | ۰/۸۵۲                | ۰/۸۳           | ۹/۲۳ | ۵/۳۶ | ۱/۹۱   |
|             | T <sub>p</sub> (h)                 | ۰/۹۹۶                | ۰/۹۹           | ۰/۳۲ | ۰/۲۴ | ۰/۲۴   |
| SCS         | Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s) | ۰/۸۶۸                | ۰/۹۵           | ۸/۷۳ | ۵/۸۳ | -۴/۹۳  |
|             | T <sub>p</sub> (h)                 | ۰/۸۱۵                | ۰/۲۷           | ۲/۲۲ | ۱/۶۹ | -۰/۸۸  |
| مثلثی       | Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s) | ۰/۸۸۵                | ۰/۹۵           | ۸/۱۳ | ۵/۴۳ | -۴/۴۱  |
|             | T <sub>p</sub> (h)                 | ۰/۸۱۶                | ۰/۴۵           | ۲/۲۱ | ۱/۶۷ | -۰/۹۹  |

مطالعه جهت برآورد هیدروگراف واحد مصنوعی با آمار مشاهده‌ای تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. این موضوع بیانگر امکان استفاده از هر چهار روش جهت ساخت هیدروگراف واحد مصنوعی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار با شرایط مشابه می‌باشد. بررسی دقیق‌تر چهار روش ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی از طریق آماره‌های ضریب همبستگی، ضریب ناش-ساتکلیف، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و میانگین خطای نسبی بیانگر برتر بودن روش‌های ژئومرفولوژی، مثلثی، SCS و اشنایدر در برآورد دبی اوج بوده که این موضوع با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات خالقی (۲۰)، رحیمیان (۴)، کومار و همکاران (۲۱)، محمدی و احمدی (۱۰) همخوانی دارد و در تحقیقات مذکور نیز روش ژئومرفولوژی به‌عنوان بهترین روش معرفی گردیده است اما با نتایج گیائی و روغنی (۹) همخوانی ندارد. همچنین این نتایج با دست‌آوردهای محمودی و همکاران (۱۱) که بیانگر کارایی کمتر روش GIUH در برآورد شکل کامل هیدروگراف و کارایی مناسب آن در برآورد دبی اوج هیدروگراف

جهت بررسی میزان تشابه داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی از آزمون t مستقل استفاده گردید. نتایج حاصل از این آزمون در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است.

با توجه به نتایج جداول ۶ و ۷، بین تمامی روش‌های مورد بررسی با داده‌های مشاهده‌ای در پارامترهای دبی اوج و زمان تا اوج تفاوت معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد مشاهده نشد. در مرحله بعد جهت مقایسه میزان دقت روش‌های مورد استفاده در برآورد فاکتورهای مهم هیدروگراف واحد از شاخص‌های ارزیابی مدل شامل ضریب تبیین، ضریب ناش-ساتکلیف، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و میانگین خطای بایاس استفاده گردید. در جدول ۸ مقادیر به‌دست آمده برای هر کدام از شاخص‌ها مذکور ارائه شده است.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل شده در این تحقیق کلیه روش‌های مورد



است، همخوانی دارد. از سویی دیگر نتایج نشان داد که روش‌های اشنایدر، ژئومرفولوژی، مثلثی و SCS به ترتیب در برآورد زمان تا اوج هیدروگراف واحد مصنوعی بهترین عملکرد را داشته که این موضوع با نتایج به دست آمده از تحقیقات برخورداری و همکاران (۱) همخوانی دارد که در آن تحقیق نیز روش اشنایدر بیشترین کارایی را در برآورد زمان تا اوج دارد.

میانگین خطای اریبی برای دو روش برتر ژئومرفولوژی و مثلثی در برآورد دبی پیک اعداد منفی  $0/22$  و  $4/41$  را نشان می‌دهد که این موضوع بیانگر کم برآوردی این روش‌ها در مجموع داده‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین این آمارها برای دو روش برتر اشنایدر و ژئومرفولوژی در برآورد زمان تا اوج به ترتیب  $0/24$  و  $0/102$  است که این موضوع بیانگر بیش برآوردی روش

اشنایدر و کم برآوردی روش ژئومرفولوژی می‌باشد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، با توجه به اینکه در سطح اکثر حوزه‌های آبخیز کشور خصوصاً حوزه‌های آبخیز با مساحت پایین، ایستگاه‌های هیدرومتری وجود ندارد یا دارای آمار ناقص می‌باشند، در حوزه‌های آبخیز با خصوصیات مشابه حوزه جنگ، می‌توان از روش GIUH به منظور برآورد ابعاد هیدروگراف سیلاب استفاده نمود. البته با توجه به تغییر پذیری شرایط اقلیمی و ژئومرفولوژیکی در مناطق مختلف کشور توصیه می‌شود مدل‌های مذکور در حوزه‌های آبخیز با خصوصیات اقلیمی، لیتولوژی و ژئومرفولوژیکی متفاوت اجرا شده و نتایج جهت تصمیم‌گیری نهایی در مورد کیفیت و مکان‌های مناسب استفاده از این مدل‌ها ارائه شود.

## منابع

- ۱- برخورداری ج.، تلوری ع.، غیائی ن. و رستگار ح. ۱۳۸۵. بررسی قابلیت به کارگیری و ارزیابی روش‌های تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی در برآورد سیلاب در حوزه آبخیز سیخوران استان هرمزگان. پژوهش و سازندگی. شماره ۷۱.
- ۲- بهره‌مند ع.ا. و مصطفی زاده ر. ۱۳۸۹. مقایسه کارایی روش‌های تخمین پارامترهای مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز جعفرآباد. پژوهش‌های آبخیزداری. شماره ۸۶.
- ۳- جهانگیر ع.، رائینی م. و احمدی م.ض. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مقایسه با مدل HEC-HMS در حوزه معرف کارده. مجله آب و خاک. شماره ۲۲.
- ۴- رحیمیان ر. و زارع م. ۱۳۷۴. کاربرد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی جهت سنتز هیدروگراف در حوزه‌های فاقد آمار. مجموعه مقالات سومین سمینار هیدرولوژی و هیدرولوژی وزارت نیرو صص ۲۰۳-۲۲۷.
- ۵- صادقی س.ح.ر. و اسدی ه. ۱۳۸۹. اهمیت زمان پیمایش بین خطوط هم‌زمان تمرکز در دقت و تخمین سیلاب از آب‌نمود واحد لحظه‌ای کلارک. آب و خاک. شماره ۲۴.
- ۶- عرفانیان م. ۱۳۷۷. بررسی روش‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی و ژئومرفولوژیکی در حوزه‌ی درگزیب سمنان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه گرگان ۱۲۳ صفحه.
- ۷- عشقی ا. و ثروتی م.ر. ۱۳۸۳. ویژگی‌های ژئومرفولوژیکی مناظر کارستی در حوضه آبریز کرده (شرق زون کپه‌داغ). پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۴۸.
- ۸- علیزاده ا. ۱۳۷۸. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد.
- ۹- غیائی ن. و روغنی م. ۱۳۸۵. کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی و مقایسه آن با هیدروگراف‌های مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS در حوزه آبخیز کسلیان. در منابع طبیعی. شماره ۷۰.
- ۱۰- محمدی ع. و احمدی ح. ۱۳۹۰. آرایه مدل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای در حوزه‌های فاقد آمار مبتنی بر مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی لار. شماره ۱۳.
- ۱۱- محمودی ف.، یمانی م. و بهرامی ش. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژیکی (GIUH) در حوزه‌ی آبخیز کنگیر (ایوان غرب). پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۰.
- ۱۲- مصطفی‌زاده ر.، بهره‌مند ع.ا. و سعدالدین ا. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب مستقیم با مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک (مطالعه موردی: آبخیز جعفرآباد استان گلستان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. شماره ۱۶.
- ۱۳- مصطفی‌زاده ر. و بهره‌مند ع.ا. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی هیدروگراف جریان با استفاده از مدل مخزن خطی ناش در آبخیز جعفرآباد استان گلستان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. شماره ۳.
- ۱۴- مهدوی م. ۱۳۷۴. هیدرولوژی کاربردی جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

- 15- Bhadra A., Panigrahy N., Singh R., Raghuvanshi N.S., Mal B.C. and Tripathi M.P. 2008. Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. *Environ Model Softw* 23(8):1013–1025.
- 16- Bhunya P.K., Panda S.N. and Goel M.K. 2011. Synthetic Unit Hydrograph Methods: a Critical Review, *The Open Hydrology Journal*, 5(1):1-8.
- 17- Goni M., Gimena F.N. and Lopez J.J. 2013. Three Unit Hydrographs Based on the Beta Distribution Function: a Novel Approach, *Hydrological Sciences Journal*, 58(1):65-76.
- 18- Gupta V.K., Waymire E. and Wang C.T. 1980. A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. *J. Water Resources Manage.* 16(5):855–862.
- 19- Hall M.J., Zaki A.F. and Shahin M.M.A. 2001. Regional analysis using the geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph. *Hydrology & Earth system Sciences*, 5:93-102.
- 20- Khaleghi M.R., Gholami V., Ghodusi J. and Hosseini H. 2011. Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in flood Hydrograph Simulation. *Catena* 87(1–4):163–171.
- 21- Kumar R.C., Chatterjee C., Lohani A.K., Sing R.D. and Kumar S. 2007. Run off Estimation for an Ungagged Catchment Using Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) Models. *Hydrol Process*, 21:1829-1840
- 22- Noorbakhsh M.E., Rahnama M.B. and Montazeri S. 2005. Estimation of IUH with Clark's method using GIS techniques. *Applied Sci.*, 5(3):455-458.
- 23- Rientjes T. and Maathuis B. 2006. Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph. Nguyen.
- 24- Rodriguez-Iturbe I. and Valdes J. 1979. The geomorphologic structure of hydrologic response. *Water Resources Manage*, 15(6):1409-1420.
- 25- Rodriguez-Iturbe I. 1993. The Geomorphological Unit Hydrograph. *Channel Network Hydrology*. 25:43-68.
- 26- Sarangi D.K. and Singh A.K. 2008. Evaluation of curve number and geomorphology-based models for surface runoff prediction from ungauged watersheds. *Current Science*, 94:12-25.

## Capability Assessment of GIUH Method for Predicting the Dimension of Instantaneous Unit Hydrograph and Compare it with Snyder, SCS and Triangular Methods

A. Golkarian<sup>1\*</sup>- S.A. Naghibi<sup>2</sup>- D. Davoudi Moghaddam<sup>3</sup>

Received: 12-01-2014

Accepted: 05-04-2014

### Abstract

One of the most important objectives in hydrological studies is quantitative rainfall-runoff process estimation at the basin. Several methods and models have been created in order to simulate the Rainfall-Runoff process that each one has its' own advantages and disadvantages. The aim of this study is to investigate the capability of the Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph model in flood hydrograph development and comparing its' performance with Snyder, SCS and Triangular models. In order to implement the mentioned methods, Rainfall-runoff data were collected for 14 events and direct hydrograph was obtained. According to the statistical indicators such as RMSE, MRE and Nash-Sutcliff Coefficient, comparison of the observed and estimated hydrographs depicted that the GIUH method was the most efficient in peak discharge estimation, and Triangular, SCS and Snyder models were the next, respectively. Also according to the results, Snyder, GIUH, Triangular and SCS methods have the most efficiency to predict the time to peak, respectively. In addition the results indicate a low estimation for GIUH and SCS methods in peak discharge prediction and over estimation for Snyder and low estimation for GIUH method in time to peak prediction.

**Keywords:** Unit Hydrograph, Geomorphology, Snyder, SCS, Triangular

---

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad  
(\* - Corresponding Author Email: [Golkarian@um.ac.ir](mailto:Golkarian@um.ac.ir))

2,3- M.Sc. Students of Watershed Management, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University