

## بررسی کارایی روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در برآورد دبی اوج سیلاب

محمد رضا خالقی<sup>1</sup>، جمال قدوسی<sup>2</sup>، حسن احمدی<sup>3</sup>، منا کامیار<sup>4</sup>

### چکیده

یکی از اهداف مهم مطالعات هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز، پیش‌بینی کمی فرایند بارش-رواناب و تعیین دبی عبوری در خروجی حوزه آبخیز می‌باشد. وجود ارتباط بین ژئومورفولوژی و هیدرولوژی این امکان را فراهم می‌آورد تا در حوزه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژی تشابه وجود دارد، با ایجاد روابط بین این دو، برآورد هیدرولوژی در حوزه‌های فاقد آمار را به دست آورد. بر این اساس، از دیرباز تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH)، بویژه هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH)<sup>5</sup>، مورد توجه محققین و پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا قرار گرفته است. تحقیق حاضر به منظور بررسی میزان کارایی هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی در تعیین شکل و ابعاد هیدروگراف خروجی یک رگبار با شدت و مدت معین انجام شده است. سپس مدل مورد تحقیق با مدل‌های اشنایدر، SCS، هیدروگراف مثلثی و روش‌های Rosso و ژئومورفوکلیماتیک در حوزه مقایسه شده و کارآمدترین مدل در برآورد هیدروگراف خروجی برای مناطق مشابه معرفی گردیده است. برای حوزه مورد مطالعه، آمار بارش و رواناب وقایع سیلاب گردآوری گردید و هیدروگراف خروجی به وسیله روش‌های مذکور شبیه‌سازی شد. مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های مورد تحقیق و هیدروگراف‌های مشاهداتی وقایع انتخابی، نشان داد که برای حوزه کسپلیان، مدل ژئومورفولوژی دارای کمترین مقادیر میانگین خطای نسبی (MRE)<sup>6</sup> و میانگین توان دوم خطا (MSE)<sup>7</sup> بوده و همچنین روش ژئومورفولوژی نسبت به روش‌های اشنایدر، SCS، مثلثی، Rosso و ژئومورفوکلیماتیک به ترتیب 91/06، 99/11، 88/642، 48/19 و 4/94 درصد برتری دارد. مطابق نتایج تحقیق روش ژئومورفولوژیک نسبت به مدل‌های دیگر از کارایی بالاتری برخوردار می‌باشد، لذا از روش مذکور می‌توان برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب‌هایی که در ایستگاه هیدرومتری ثبت نشده‌اند استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و روسو و ژئومورفوکلیماتیک، هیدروگراف‌های اشنایدر، مثلثی و SCS

1- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی و عضو باشگاه پژوهشگران واحد تربت جام drmrkhaleghi@gmail.com

2- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ایران Jamal\_go@yahoo.com

3- استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

4- کارشناس مرتع و آبخیزداری و عضو باشگاه پژوهشگران واحد تربت جام

5- Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph

6- Mean Relative Error

7- Mean Square Error

## مقدمه

یکی از روش‌های متداول در پیش‌بینی هیدروگراف سیل ناشی از بارش‌های مشخص در یک حوزه آبخیز، استفاده از هیدروگراف واحد لحظه‌ای است. عدم وجود و دسترسی به هیدروگراف واحد لحظه‌ای، به دلیل نبود و یا کمبود ایستگاه‌های باران نگاری در مناطق سیل‌خیز کشور، یکی از معضلات اساسی در مدیریت و کنترل سیلاب می‌باشد. بنابراین ضرورت دارد که از روش‌های مناسبی برای محاسبه دبی حداکثر لحظه‌ای اقدام شود. به دلیل نبودن ایستگاه هیدرومتری در اکثر حوزه‌های آبخیز، ارایه روش‌های مناسب که توانایی بهتری جهت استخراج هیدروگراف در حوزه‌های مزبور باشد، بسیار حائز اهمیت است [8]. برای نقاطی از حوزه آبخیز فاقد آمار هیدرومتری که دارای ویژگی‌های مشابه است، می‌توان از روش هیدروگراف مصنوعی استفاده کرد [15]. کاربرد تئوری هیدروگراف واحد برای حوزه‌های آبخیز فاقد داده‌های هیدرومتری، توسط اشنايدر<sup>1</sup> (1983) مورد توجه قرار گرفت. طبق نظر اشنايدر، با استفاده از خصوصیات مورفولوژی یک حوزه آبخیز می‌توان ویژگی‌های هیدروگراف واحد مصنوعی را تعیین کرد [19]. تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک توسط رودریگوئز - ایتورب و والدرس<sup>2</sup> (1979) به‌عنوان عکس‌العمل هیدروژیک حوزه آبخیز نسبت به ورود یک بارش مازاد لحظه‌ای شکل گرفته است. نتایج بررسی آن‌ها که در یک حوزه آبخیز فرضی با رتبه سه انجام شده نشان می‌دهد که عکس‌العمل هیدروژیک حوزه آبخیز تابعی از پارامترهای ثابت ژئومورفولوژیک و پارامتر دینامیکی سرعت جریان است [13]. کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی توسط نش<sup>3</sup> و همکاران (1998) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که این روش دارای کارایی مناسبی می‌باشد [11]. کودنس<sup>4</sup> و همکاران (2004) در یک تحقیق به بررسی رابطه بین پارامترهای ژئومورفولوژیک و هیدروگراف واحد از طریق توزیع پارامتری گاما نموده و به این نتیجه رسیدند که بین ژئومورفولوژی یک حوزه آبخیز و پاسخ هیدروژیک آن یک رابطه مستقیمی وجود دارد [4]. رینتجس<sup>5</sup> و همکاران (2006) برای تهیه و بررسی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در کشور ویتنام اقدام و به این نتیجه رسیدند که این روش نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده از کارایی بیشتری برخوردار است [9]. سارانگی<sup>6</sup> و همکاران (2008) با مقایسه روش‌های ژئومورفولوژی و (CN)<sup>7</sup> در حوزه‌های فاقد آمار برای محاسبه هیدروگراف رواناب مستقیم (DRH)<sup>8</sup> دریافتند که در حوزه‌های آبخیز کوچک با خصوصیات ژئومورفولوژی مشابه، روش GIUH دارای صحت بیشتری است [17]. دیاز - گراندس (Diaz-Grandos) و همکاران (1984) تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک را مبتنی بر هیدرولیک جریان توسعه و بسط دادند و آلام (Allam) (1990) آنرا

<sup>1</sup> Snyder

<sup>2</sup> Rodriguez-Iturbe & Valders

<sup>3</sup> Nash

<sup>4</sup> C.Cudennec

<sup>5</sup> Rientjes

<sup>6</sup> A.Sarangi et al

<sup>7</sup> Curve Number

<sup>8</sup> Direct Run-off Hydrograph

در سه حوزه آبخیز واقع در عربستان سعودی مورد ارزیابی قرار داد که در نتیجه در حوزه آبخیز خات (Khat) مطابقت بالایی نشان داد ولی در حوزه‌های آبخیز جاف (Jawf) و میدناب (Midhnab) به علت خطی فرض کردن نفوذ در جریان آبراهه‌ای و همچنین فرضیات مدل و شرایط توزیع مکانی بارش، تطابق خوبی نشان نداد [5].

سورمن<sup>1</sup> (1995) از مدل هیدروگراف احد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک برای برآورد حجم، دبی و زمان اوج هیدروگراف خروجی در حوزه‌های آبخیز وقع در شمال شرق عربستان برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت 5 تا 10 ساله استفاده کرد که نتایج این بررسی همبستگی بالایی را بین اجزای مدل نشان داد [20]. حافظ شاهین و همکاران (2004)، در مطالعه‌ای، اقدام به تخمین هیدروگراف واحد لحظه‌ای با استفاده از GIS و مدل GIUH نموده‌اند. در این مطالعه روش GIUH توسعه یافته و برای تخمین هیدروگراف در حوزه آبخیز Al-badan واقع در فلسطین به کار گرفته شده است. نتیجه به دست آمده حاکی از این است که روش، تطبیق زیادی با هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده و هیدروگراف طبیعی دارد [18]. بهادرا و همکاران (2008)، در منطقه اتارانچال (Uttaranchal) واقع در هندوستان، در تحقیقی تحت عنوان «توسعه یک مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی برای حوزه‌های آبخیز فاقد ایستگاه هیدرومتری» اقدام به ارزیابی مدل GIUH در منطقه نموده و نتیجه کار را بسیار رضایت‌بخش اعلام کردند. تحقیق انجام شده توسط عرفانیان (1377) در حوزه آبخیز در جزین سمنان در مورد مقایسه هیدروگراف خروجی به روش‌های ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، ناش، روسو و SCS با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای وقایع انتخابی متناظر بارش-رواناب نشان داد که کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است [3]. حشمت‌پور و همکاران (1381) نیز در تحقیقی به بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد دبی سیل با مدل‌های ناش، روسو و SCS پرداختند. نتیجه این تحقیق نشان داد که روش ژئومورفولوژیک نسبت به سایر مدل‌ها از کارایی بالاتری برخوردار است [8]. غیائی و همکاران (1383)، در یک طرح تحقیقاتی، به واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و ژئومورفوکلیماتولوژی در حوزه‌های آبخیز کسلیان و ليقوان پرداختند، نتایج نشان دهنده کارایی مناسب روش GIUH در حوزه آبخیز کسلیان و روش GIUH نوع گاما در حوزه آبخیز ليقوان بود [7]. محمودی، فرج ا... و همکارانش (1386) در پژوهشی، تحت عنوان «ارزیابی مدل GIUH در حوزه آبخیز کنگیر (ایوان غرب)» به منظور بررسی نقش عوامل و اشکال ژئومورفولوژی در ویژگی‌های سیلاب‌ها، اقدام به بررسی روش GIUH در حوزه فوق‌الذکر نموده و نتیجه‌گیری کرده‌اند که اشکال خاص ژئومورفولوژی مانند چاله‌ها، درزها و شکاف‌های تکتونیکی، باعث کاهش سرعت و ضریب رواناب شده و بنابراین مقادیر دبی اوج (Qp) و زمان تا اوج (Tp) سیلاب را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از طرفی این پارامترها، علاوه بر عوامل ژئومورفولوژی، تا حدودی از تغییرات شدت بارش در هر رگبار نیز متأثر هستند [1].

<sup>1</sup> Sorman

با شرح اجمالی نتایج پژوهش‌های انجام شده در جهان و ایران، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که به‌رغم متداول بودن استفاده از روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH)، سوالات زیادی در زمینه اعتبار، حساسیت، کارایی و محدودیت‌های استفاده از این روش به‌ویژه در مباحث نقش خسارات سیل و مدیریت حوزه‌های آبخیز، وجود دارد. از اینرو در این تحقیق، با توجه به عنوان، سوالات و اهداف مورد نظر، سعی بر آن بود که سوالات مذکور، پاسخ‌های کاربردی ارائه شود.

هدف از این تحقیق بررسی دقت، صحت و درجه اطمینان تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک در تعیین شکل و ابعاد هیدروگراف خروجی از یک رگبار با شدت و مدت معین به‌عنوان یک راه‌کار اساسی در تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای در یک حوزه آبخیز فاقد ایستگاه هیدرومتری جهت برنامه‌ریزی‌های آبی و به‌عبارتی، مقایسه ابعاد هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در ساعت متناظر جهت به‌کارگیری مدل‌های مناسب تجزیه و تحلیل سیلاب‌ها در حوزه‌های مشابه فاقد آمار می‌باشد. مقایسه کارایی این روش با روش‌های شنايدر، SCS و روش هیدروگراف مثلثی در برآورد رواناب خروجی حوزه از دیگر اهداف این تحقیق جهت استفاده در مناطق مشابه می‌باشد.

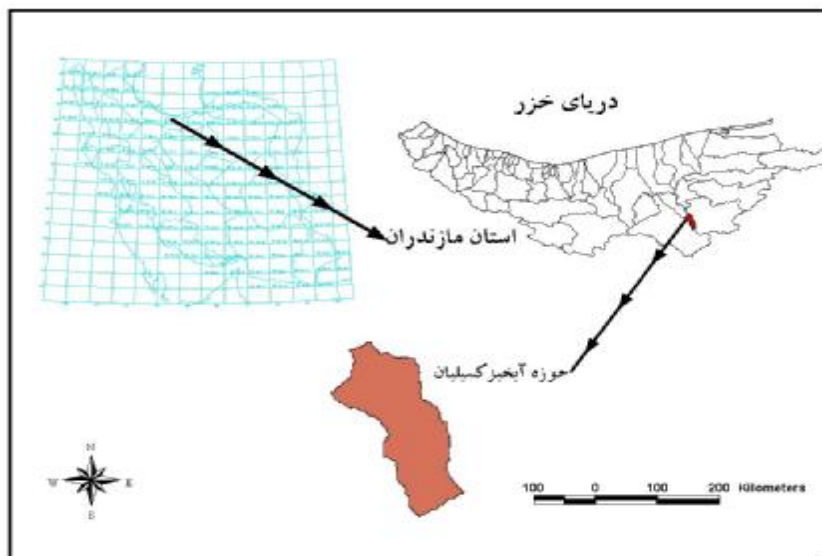
## مواد و روش‌ها

### الف - موقعیت و خصوصیات حوزه مورد تحقیق

حوزه آبخیز کسلیان به مساحت حدود 68 کیلومترمربع در محدوده جغرافیایی  $53^{\circ} 18'$  تا  $53^{\circ} 30'$  طول شرقی و  $35^{\circ} 58'$  تا  $36^{\circ} 7'$  عرض شمالی و واقع در شهرستان سوادکوه استان مازندران به دلیل دارا بودن هیدروگراف سیل و هیتوگراف بارش متناظر آن به‌عنوان حوزه مورد مطالعه انتخاب شد. شکل هندسی این حوزه کشیده و ارتفاع حداکثر، حداقل و آن به ترتیب 3349، 1120 و 1672 متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط شیب حوزه و آبراهه اصلی این حوزه به ترتیب  $13 \frac{15}{8}$  درصد و طول آبراهه اصلی آن  $16/5$  کیلومتر است. متوسط بارندگی منطقه 791 میلی‌متر بوده که عمدتاً به صورت باران ریزش می‌نماید. اقلیم منطقه نیز نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد. خاک منطقه شامل گروه‌های هیدرولوژیک B، C و D بوده و از نظر کاربری اراضی دارای وضعیتی به شرح جدول 1 است (حشمت‌پور) شکل (1) موقعیت حوزه‌های مورد نظر را در کشور نشان می‌دهد.

جدول 1- وضعیت کاربری اراضی حوزه معرف کسلیان

نوع کاربری	مساحت ( $Km^2$ )	درصد
جنگل	38/065	56/16
مرتع	10/608	15/65
زراعت	18/396	27/14
مسکونی و بدون پوشش	0/711	1/05



شکل 1 - موقعیت حوزه آبخیز کسلیان در کشور

### ب- روش تحقیق

در این تحقیق برای استخراج هیدروگراف‌ها، مقادیر کمی پارامترهای ژئومورفولوژیک هر یک از حوزه‌های آبخیز از قبیل مساحت، طول آبراهه بالاترین رتبه حوزه و شیب رودخانه اصلی تعیین و نسبت انشعاب ( $R_B$ )، نسبت طول ( $R_L$ ) و نسبت مساحت ( $R_A$ ) با استفاده از نرم افزار GIS برآورد گردید. سپس تعداد 21 واقعه بارش-رواناب که از کیفیت مناسبی برخوردار بوده و آب حاصل از برف نیز در سیلاب حاصله تأثیری نداشته جهت استخراج هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی انتخاب گردید. برای حوزه فوق، با استفاده از آمار بارش و رواناب مشاهده‌ای (واقعی)، هیدروگراف واحد طبیعی استخراج و سپس هیدروگراف مصنوعی به روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی تهیه شد. در نهایت هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH)، Rosso، و GCIUH حوزه تهیه گردید. پس از استخراج هیدروگراف سیلاب‌ها به روش‌های مختلف با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای با استفاده از شاخص‌های میانگین خطای نسبی (MRE) (روابط 1 و 2) و میانگین توان دوم خطا (MSE) (روابط 3 و 4) (مدنهال 1995)<sup>1</sup> مورد مقایسه قرار گرفتند.

$$RME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n REi \quad \text{رابطه 1:}$$

$$REi = \frac{|Q_0 - Q_s|}{Q_0} \times 100 \quad \text{رابطه 2:}$$

که در آن  $REi$  درصد خطای نسبی در هر برآورد،  $n$  تعداد برآورد،  $Q_0$  دبی اوج مشاهده‌ای و  $Q_s$  دبی اوج برآورد شده و

<sup>1</sup> - Medenhall

$$R_{MSE} = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SEi \right]^{0.5} \quad \text{رابطه 3:}$$

$$SEi = (Q_0 - Q_s)^2 \quad \text{رابطه 4:}$$

که در آن SEi مربع خطا در هر برآورد و n تعداد برآورد می‌باشد.

## نتایج

این تحقیق در راستای تعیین مقادیر کمی پارامترهای ژئومورفولوژیک، اندازه‌گیری و تعیین رابطه بارش-روناب 21 واقعه بارندگی بین سال‌های 1358 تا 1386 در حوزه کسپلیان و استخراج هیدروگراف به روش‌های مختلف مورد نظر انجام گردید. خلاصه اطلاعات مربوط به مقادیر کمی پارامترهای ژئومورفولوژیک حوزه‌ها در جدول (1) و بارش-روناب حوزه‌های مورد تحقیق در جداول (2) و (3) ارایه گردیده‌است.

نتایج مربوط به مقادیر میانگین خطای نسبی و میانگین توان دوم خطا برای هر یک از حوزه کسپلیان در جدول (4) آورده شده‌است. این جداول مقادیر میانگین خطای نسبی دبی اوج در حوزه معرف کسپلیان برای هر یک از مدل‌های ژئومورفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی به ترتیب برابر 8/52، 72/04، 77/66، 73/63 درصد و در حوزه معرف امامه برای مدل‌های فوق‌الاشاره به ترتیب 7/344، 56/046، 110/43، 111/684 درصد می‌باشد. بنابراین در هر دو حوزه مدل ژئومورفولوژی، بهترین جواب را در برآورد دبی اوج سیلاب دارد. بر اساس همین جداول مقادیر میانگین توان دوم خطا در حوزه معرف کسپلیان برای مدل‌های ژئومورفولوژی، اشنایدر، SCS و مثلثی به ترتیب 0/2156، 19/63، 21/37، 19/11 درصد و در حوزه معرف امامه برای مدل‌های فوق‌الاشاره به ترتیب 0/0466، 4/899، 3/281، 3/32 درصد برآورد گردیده‌است. بنابراین در هر دو حوزه مدل ژئومورفولوژی، بهترین جواب را در برآورد ابعاد هیدروگراف دارد.

جدول 1- مقادیر کمی پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز کسپلیان

حوزه	رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	متوسط طول (کیلومتر)	متوسط مساحت (کیلومتر مربع)	روش	نسبت انشعاب	نسبت طول	نسبت مساحت
کسپلیان	1	595	0/31171	0/218	هورتن	$R_b1 = 4/02$ $R_b2 = 4/353$ $R_b3 = 2/83$ $R_b4 = 3/5$ $R_b5 = 3/49$	$R_{i1} = 1/458$ $R_{i2} = 2/324$ $R_{i3} = 0/634$ $R_{i4} = 0/634$	
	2	148	0/4545	1/129	رابطه شوم			$R_A1 = 1/422$ $R_A2 = 3/95$ $R_A3 = 3/9$ $R_A4 = 3/15$
	3	34	1/05625	4/464	میانگین هندسی	3/588	2/35	
	4	12	1/3942	6/35	نسبت‌ها	3/64		
	5	3	0/885	24/779	ترسیمی	4/76	2/24	5/77
	6	1	8/55936	67/8	لگاریتمی	3/5	2/247	

جدول 2- خلاصه اطلاعات مقادیر کمی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی سیلاب‌های منتخب در

حوزه آبخیز کسلیان

زمان تا اوج (به ساعت)	دبی تا اوج (بر ساعت)	زمان بارش اضافی (ساعت)	بارش اضافی (میلی متر)	سرعت اوج سیلاب (متر بر ثانیه)	دبی اوج سیلاب (مترمکعب بر ثانیه)	تاریخ وقوع سیلاب	ردیف
$T_p = t_p + 0.75tr$	$qp = \frac{1.31}{L_n} RL^{0.43} V$			$V = 0.7859Q^{0.3864}$	$Q_p = q_p / 3600 \times \frac{ir}{100} \times A$		
1/54	0/35	8	7/31	2/06	12/1	1370/2/21	1
1/51	0/35	7	8/58	2/09	12/55	1373/1/7	2
1/56	0/34	4/5	6/49	2/03	11/7	1373/7/30	3
3/01	0/18	5/5	1/23	1/05	2/12	1375/7/15	4
2/38	0/23	2/25	1/28	1/33	3/89	1375/8/21	5
2/04	0/26	3/25	2/17	1/55	5/81	1378/2/2	6
2/68	0/19	2	0/121	1/17	2/85	1374/9/6	7
3/24	0/16	2	0/36	0/97	1/75	1380/7/4	8
3/14	0/17	2/15	0/11	1/007	1/9	1383/6/29	9
1/56	0/34	3	0/66	2/02	11/5	1382/7/15	10
3/16	0/17	1/45	0/173	0/99	1/86	1386/8/17	11
3/5	0/15	3	1/33	0/89	1/38	1385/8/14	12
2/53	0/21	9	0/22	1/24	3/3	1384/6/30	13
2/43	0/22	3	0/19	1/29	3/66	1381/8/29	14
1/49	0/36	6	0/49	2/12	13/05	1386/6/11	15
1/61	0/33	4	0/47	1/96	10/68	1383/3/30	16
3/25	0/16	2	0/042	0/96	1/68	1371/3/30	17
3/14	0/17	1/5	0/104	1/007	1/9	1385/7/15	18
2/96	0/18	2	0/156	1/065	2/2	1384/2/10	19
1/77	0/3	6	0/52	1/78	8/3	1384/7/20	20
3/053	0/17	2	0/12	1/035	2/043	1372/3/14	21

جدول 3 - ابعاد هیدروگراف به روش های SCS، اشنایدر و مثلثی برای وقایع مختلف حوزه آبخیز کسلیان

ردیف	روش	SCS				مثلثی	ردیف
		Qp	QPR	tp	اشنایدر		
1	تاریخ	Qp	QPR	tp	اشنایدر	مثلثی	1
2	1370/2/21	18/33	17/33	9/67	17/83	5/69	2
3	1373/1/7	19/12	18/12	8/92	18/62	5/33	3
4	1373/7/30	17/49	20/49	7/049	20/99	4/13	4
5	1375/7/15	3/47	1/94	7/79	4/97	4/5	5
6	1375/8/21	5/21	2/32	5/36	6/71	3/33	6
7	1378/2/2	8/91	2/35	6/11	9/41	4/64	7
8	1374/9/6	3/35	2/35	5/17	2/85	3/71	8
9	1380/7/4	3/35	2/33	5/17	2/85	2/94	9
10	1383/6/29	3/33	2/22	5/28	2/83	2/64	10
11	1382/7/15	23/22	16/5	5/92	22/72	4/77	11
12	1386/8/17	3/43	2/22	4/76	2/93	3/14	12
13	1385/8/14	3/22	1/9	5/92	3/72	4/28	13
14	1384/6/30	6/66	2/1	10/42	6/16	7/44	14
15	1381/8/29	5/22	2/35	5/92	6/72	4/6	15
16	1386/6/11	18	24/2	8/17	19/5	4/63	16
17	1383/3/30	16	23/5	6/67	21/53	4/94	17
18	1371/3/30	3/35	1/9	5/17	2/85	3/14	18
19	1385/7/15	3/42	2/35	4/79	2/92	4/1	19
20	1384/2/10	5/35	2/2	5/17	4/85	3/35	20
21	1384/7/20	4/75	14	8/17	19/5	4/75	21

جدول 4- مقادیر میانگین خطای نسبی (RME) و توان دوم خطا (MSE) روش های مختلف در حوزه آبخیز کسلیان

ردیف	تاریخ	ژئومورفولوژیک	اشنایدر	SCS	مثلثی	Rosso	ژئومورفوکلیماتیک	ردیف
1	1370/2/21	0/0825	27/35	38/82	32/83	24/16	2/02	1
2	1373/1/7	0/0224	31/12	43/28	36/95	27/83	1/80	2
3	1373/7/30	0/0307	33/52	33/52	39/56	48/83	2/64	3
4	1375/7/15	0/0445	5/54	1/83	8/15	2/40	0/15	4
5	1375/8/21	0/737	5/38	1/74	7/95	0/56	1/32	5
6	1378/2/2	0/44	9/65	9/65	13/01	0/161	1/34	6
7	1374/9/6	0/534	0/24	0/25	3/42	1/60	0/87	7
8	1380/7/4	0/022	0/36	2/57	1/22	2/75	0/001	8
9	1383/6/29	0/017	0/19	2/06	0/87	2/61	0/09	9
10	1382/7/15	1/19	115/07	137/52	52/23	19/76	4/38	10
11	1386/8/17	0/045	0/33	2/48	1/15	2/65	0/138	11
12	1385/8/14	0/069	3/39	3/39	5/48	2/99	0/011	12
13	1384/6/30	0/029	5/56	11/28	8/17	1/096	0/026	13
14	1381/8/29	0/008	6/59	2/45	9/40	0/76	0/071	14
15	1386/6/11	0/063	35/46	24/55	41/67	32/27	2/19	15
16	1383/3/30	0/95	18/99	28/71	78/47	14/59	3/64	16
17	1371/3/30	0/001	0/45	2/80	1/38	2/80	0/017	17
18	1385/7/15	0/048	0/27	2/33	1/06	2/62	0/14	18
19	1384/2/10	0/022	4/64	9/95	7/05	2/04	0/005	19
20	1384/7/20	0/03	22/14	32/55	27/09	4/39	0/91	20
21	1372/3/14	0/065	10/97	18/60	7/91	2/47	0/001	21
22	1386/7/30	0/007	94/61	59/71	38/77	29/19	1/63	22
23	مجموع	40/74	431/95	470/156	420/48	228/61	23/45	23
24	RME	8/52	72/04	77/64	73/63	10/39	1/065	24
25	MSE	0/215	19/63	21/37	19/11	56/73	21/57	25



جدول 6- کارایی نسبی برآورد کننده (1) نسبت به برآورد کننده (2) در برآورد ابعاد هیدروگراف خروجی حوزه

#### آبخیز کسلیان

برآورد کننده (2)	ژئومورفولوژیک	اشنایدر	SCS	مثلثی	Rosso	ژئومورفوکلیماتیک
برآورد کننده (1)						
ژئومورفولوژیک	1	0/019	0/01	0/0112	0/02	0/202
اشنایدر	91/06	1	0/918	1/027	1/89	18/41
SCS	99/11	1/088	1	1/118	2/056	20/047
مثلثی	88/64	0/973	0/894	1	1/84	17/93
Rosso	48/195	0/53	0/48	0/54	1	9/75
ژئومورفوکلیماتیک	4/94	0/054	0/049	0/055	0/102	1

نتیجه بررسی میزان کارایی نسبی روش‌ها در حوزه آبخیز کسلیان با استفاده از روش شاخص کارایی نسبی در جدول 6 نشان داده شده است. نتیجه حاصل از این جدول نشان می‌دهد که هیدروگراف واحد لحظه‌ای به روش ژئومورفولوژی به ترتیب با 91/06، 99/11، 88/642، 48/19 و 4/94 درصد برتری نسبت به روش‌های اشنایدر، SCS، مثلثی، Rosso و GCIUH از کارایی بیشتری برخوردار است.

#### بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی به روش‌های ژئومورفولوژیک، اشنایدر، SCS، مثلثی و مقایسه آن‌ها با هیدروگراف مشاهده‌ای سیلاب‌های ثبت شده و بررسی کارایی روش ژئومورفولوژی نسبت به سایر روش‌ها در حوزه آبخیز کسلیان انجام گردید. در تهیه هیدروگراف واحد به روش ژئومورفولوژی (GIUH) علاوه بر پارامترهای ژئومورفولوژیک که ساختار کلی مدل را تشکیل می‌دهند، متغیرهای توزیع زمانی بارش مازاد (مؤثر) و خصوصیات هیدرولیک بستر جریان رودخانه را که در سیلاب از اهمیت زیادی برخوردار است، در بر دارد. با در دست داشتن زمان و مقدار بارش اضافی (مؤثر) و با توجه به ثابت بودن عوامل ژئومورفولوژیکی حوزه با به‌کارگیری پارامتر سرعت (عامل دینامیک حوزه و تابع شدت و مدت بارندگی) به‌سادگی هیدروگراف هر بارش قابل استخراج می‌باشد. در تحقیق موردنظر پس از تعیین مقادیر کمی پارامترهای ژئومورفولوژیک و سایر پارامترهای مورد نیاز جهت تهیه هیدروگراف واحد به روش‌های مختلف انتخابی در این بررسی با هیدروگراف مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند.

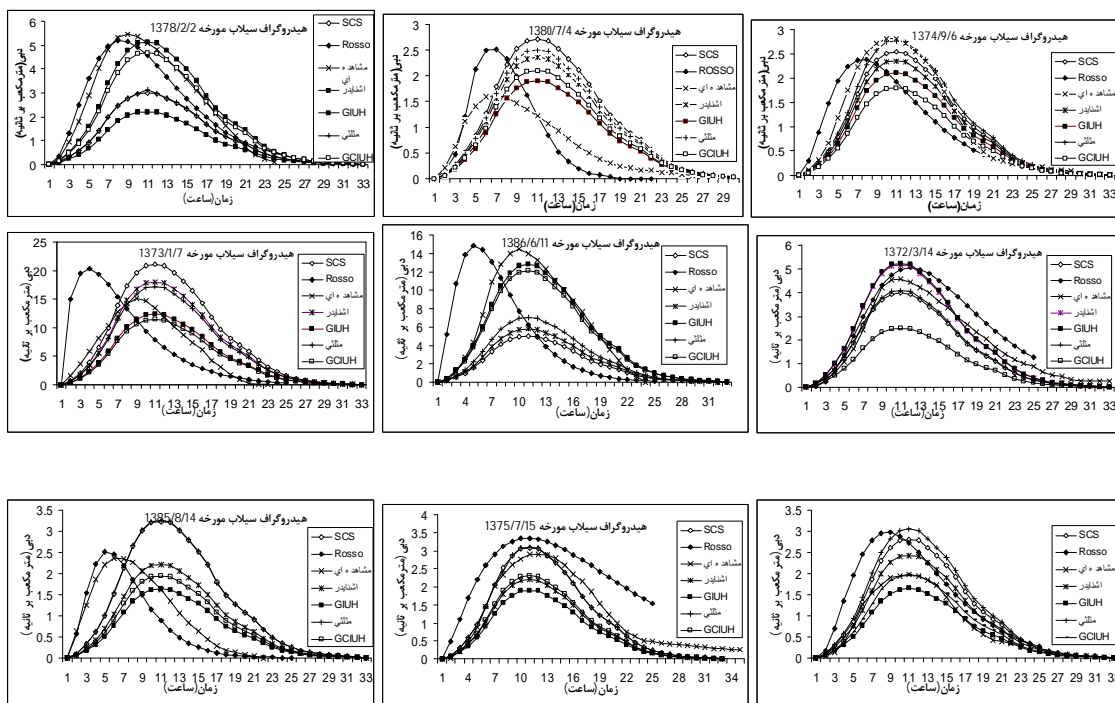
بر اساس جدول 4 تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای به روش ژئومورفولوژی در حوزه آبخیز کسلیان بهترین جواب را نسبت به سایر روش‌ها در برآورد دبی اوج سیلاب دارد. از طرف دیگر همین روش بهترین جواب را برای برآورد ابعاد هیدروگراف از خود نشان داده است. این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات

نش (1998)، رحیمیان (1374)، غیائی (1383)، حشمت‌پور (1381)، کودنس (2004)، ریتنجنس (2006)، و سارانگی (2008) هم‌خوانی کامل دارد.

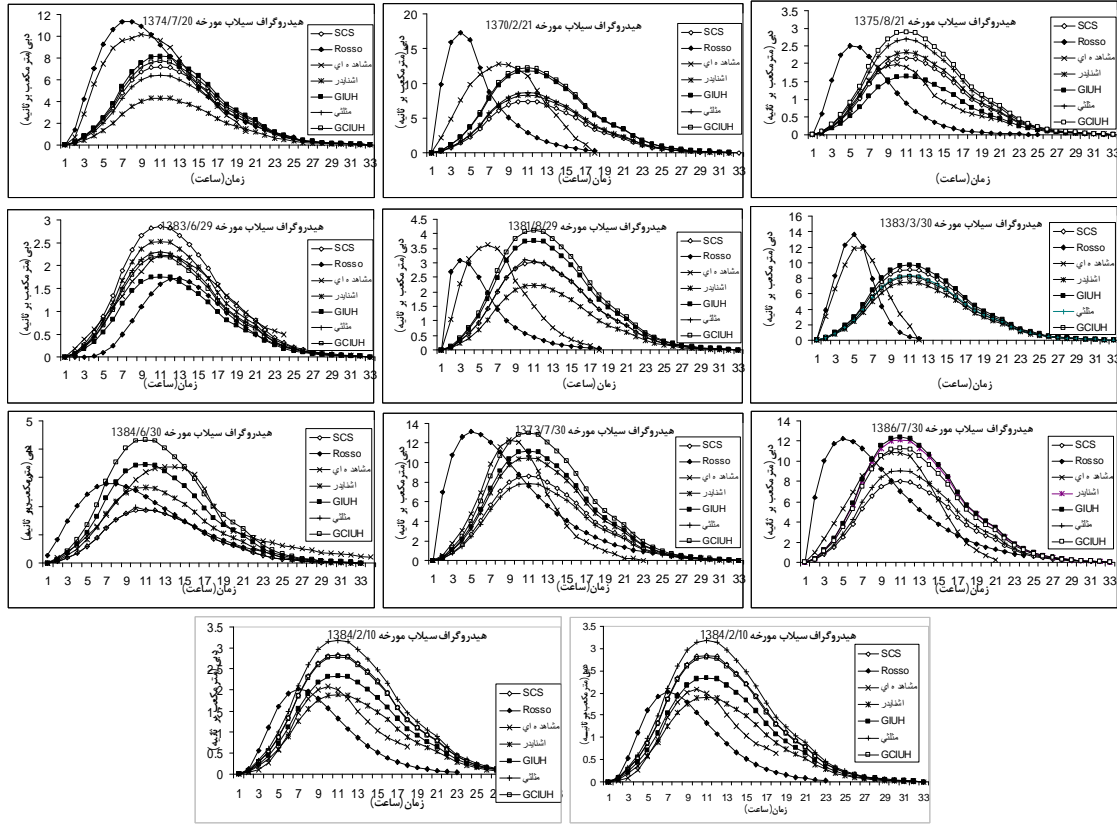
نتیجه نهایی این تحقیق نشان داد که تهیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای به‌روش ژئومورفولوژی برای برآورد دبی اوج سیلاب از کارایی و دقت بالایی برخوردار می‌باشد. همچنین این تحقیق نشان داد که روش مورد بررسی در برآورد ابعاد هیدروگراف واحد خروجی به‌عنوان واکنش هیدرولوژیک حوزه آبخیز نیز از دقت مناسبی برخوردار است. این نتیجه نشان داد که پارامترهای اقلیمی و فیزیکی مورد استفاده در روش مورد نظر که از عوامل مؤثر در برآورد هیدروگراف جریان خروجی بوده و به‌عنوان شاخصی که مقادیر کمی ابعاد آن از نظر آماری قابل درک است از تأثیرگذاری بالایی برخوردار است. از این‌رو به‌نظر می‌رسد این روش برای برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و تخمین سیل طرح برای مناطقی از کشور که با کمبود داده‌های مشاهده‌ای جریان مواجه است، می‌تواند سودمند باشد.

شکل 2- مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف محاسبه‌ای سایر روش‌ها برای رگبارهای مختلف

### حوزه آبخیز کسپلیان



شکل 2- (ادامه)



## منابع مورد استفاده

- 1- محمودی، ف. و همکاران، 1386، ارزیابی مدل GIUH در حوزه آبخیز کنگیر (ایوان غرب)، پژوهشهای جغرافیایی، شماره 6، تابستان 1386، صص 1-14.
- 2- Allam, M.N. 1990. Case Study Evaluation of Geomorphological Rainfall Runoff Model Incorporation Linear Infiltration Expression, Hydrological Processes, 40(1): 71-84.
- 3- Bhadra, A., N. Panigrahy., R. Singh., N.S. Raghuwanshi., B.C. Mal and M.P. Tripathi, 2008. Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. Environ. Model. Softw., 23(8): 1013-1025.
- 4-Cudennec, C., Y. Fouad., I. Sumarjo Gotot and J. Duchesne, 2004. 'A geomorphological explanation of the unit hydrograph concept', Hydrol. Process, 18: 603-621.
- 5- Diaz-Granados, M. A., Valdes, J. B. and Bras, R.L.: 1984, A physically based flood frequency distribution, Water Resour. Res. 20(7), 995-1002.
- 6- Erfanian, M., 1998. An investigation of geomorphologic and geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph in dergezin watershed of semnan. M.Sc. Thesis. University of Gorgan, pp: 123.
- 7- Ghiasi, N., 1996. Calibration of geomorphologic and geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph in Emame watershed. M.Sc. Thesis. College of Natural Resources, University of Tehran, pp: 143.
- 8- Heshmatpour, A., M. Saravi, A. Saaddin and M. Erfanian, 2002. An investigation of efficiency of geomorphologic and geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph in estimation of flood discharge rate. Iran. J. Nat. Resour., 55: 3-22.
- 9- H. Q. Rientjes, T and Maathuis, B., 2006, "Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph". Nguyen.
- 10- Mendenhall W., Wacjerly D.D, Scheaffer R.L 1990 "Mathematical statistics with applications": Pws – kent.
- 11- Nash, J., 1998 "The Geomorphologic Unit Hydrograph- a critical review".
- 12- Rahimian, M. and M. Zare, 1995. Use of geomorphologic and geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph model to investigate in no data watersheds. Proceeding of 3rd Hydrology Seminar on Ministry of Energy, 1995. University of Tehran, Iran, pp: 203-227.
- 13- Rodriguez-Iturbe, I. and Valders, J., The geomorphological structure of hydrologic response. Water Resour. Res., 1979, 15, 1409– 1420.
- 14- Rodriguez-Iturbe, I., Gonzalez-Sanabria, M. and Bras, R., A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. Water Resour. Res., 1982, 18, 877–886.
- 15- Rodriguez-Iturb I .1993 "on the climatic dependence of the full: a rainfall-runoff analysis of the nash model and the geomorphologic theory" Water Resources, Res, 18(4) : 887-903.
- 16- Sarangi, A., Madramootoo, C. A., Enright, P. and Prasher, S. O., Evaluation of three unit hydrograph models to predict the surface runoff from a Canadian watershed. Water Resour. Manage. 2007.
- 17- Sarangi, D. K. Singh and A. K. Singh 2008 " Evaluation of curve number and geomorphology-based models for surface runoff prediction from ungauged watersheds" CURRENT SCIENCE, VOL. 94, NO. 12, 25 JUNE 2008.
- 18- Shaheen H.Q., Storm water drainage in arid and semiarid regions: West Bank as a case study, An-Najah University Journal for Research – A (Natural Sciences), Vol. 16, No. 12, pp. 125-139, Nablus, 2002.
- 19- Snyder, W. M., 1983. "Hydrograph analysis by the method of least squares," Proceedigns, American Society of Civil Engineers, 81, pp 793-1-793-25.
- 20- Sorman, A. U., Estimation of peak discharge using GIUH model in Saudi Arabia. J. Water Resour. Plan. Manage. 1995, 121, 287–293
- 21- Zehtabian, Gh., A. Alipour Tomaj and M. Vafakhah, 2001. An investigation of the use of artificial unit hydrograph analysis of flood of northern Iran watersheds. Iran. J. Natural Resour. 54: 331-344.