



## کارائی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و مقایسه آن با هیدروگراف‌های مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS در حوزه آبخیز کسلیان

• نجفقلی غیائی و • محمد روغنی، اعضاء هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: خرداد ماه ۱۳۸۳ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۸۳

Email: ghia si@scwmri.ac.ir

### چکیده

از ویژگی‌های اصلی مطالعه ژئومورفولوژی در هر منطقه کمک به تشریح و ارزیابی حوزه‌ای است که آب در آن جریان دارد. وجود ارتباط بین ژئومورفولوژی و هیدروولوژی این امکان را فراهم می‌آورد تا در حوزه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژی تشابه وجود دارد با ایجاد روابط بین این دو، برآورد هیدروولوژی در حوضه‌های فاقد آمار را به دست آورد. در یک حوزه آبخیز دو دسته عناصر ثابت (پارامترهای ژئومورفولوژی) و پویا (متغیرهای بارش و سرعت جریان) در پاسخ هیدروولوژی حوزه تأثیر می‌گذارند. پارامترهای ژئومورفولوژی نظیر نسبت انشعاب، نسبت طول، نسبت مساحت، طول آبراهه اصلی و شیب آبراهه از عناصر ثابت و سرعت جریان، شدت و مقدار بارش از عناصر پویا می‌باشند. با روابط بین این عناصر می‌توان هیدروگراف یک حوزه را در خروجی برآورد نمود. این ایده به هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) موسوم است، با استفاده از این روش هیدروگراف برای حوزه آبخیز کسلیان استخراج شده و با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و مصنوعی استخراج شده از روش‌های اشنایدر و SCS مثلثی مقایسه شده است. بر اساس تحلیل‌های آماری بین روش‌های مختلف اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود نداشته است لیکن بر اساس آزمون کارائی نسبی نتایج به دست آمده نشان دهنده کارائی نسبی، خوب این روش بوده است.

کلمات کلیدی: هیدروگراف واحد لحظه‌ای، پارامترهای ژئومورفولوژی، کسلیان، کارائی نسبی

Pajouhesh & Sazandegi No:70 pp:23-32

### Efficiency of geomorphologic instantaneous unit hydrograph and compare with Snyder, SCS, and triangular synthetic unit hydrograph in Kasilian watershed.

By: N. Ghiasi, and Roghani M. Members of Scientific Board of Soil Conservation and Watershed Management Research Center Tehran Iran.

The usage of geomorphologic parameters for estimating of unit hydrograph are a basic role in hydrological science. Due to lack of observed data in basins. Relationship between hydrology and geomorphologic parameters can lead to estimate hydrologic response of a basin. Dynamics and static parameters such as velocity and rainfall intensity plus bifraction ratio length ratio, area ratio length and slope of the main stream affect on response of basin. To make relation between these two elements can estimate the output hydrograph of a basin. In this research project by this method for representative basin of Kasilian in north Iran hydrograph were estimated and then by other synthetic methods such as Snyder, SCS and triangular SCS were compared. It is mentioned that the giuh by ROSSO method also acquired. After then these methods compared by observed hydrograph, the result was satisfied and they have no significant differences.

**Key words:** Hydrograph, Geomorphologic instantaneous unit hydrograph, SCS, Snyder

## مقدمه

برای حوزه‌هایی که فاقد داده‌های هیدروکلیماتولوژی هستند، متخصصین علم هیدرولوژی استفاده از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی را معقول دانسته‌اند. از جمله اشنایدر در سال ۱۹۳۸ روشی را عرضه می‌نماید که بر اساس خصوصیات مورفولوژیکی حوزه می‌توان مشخصات هیدروگراف واحد مصنوعی را تعیین کرد. اداره حفاظت خاک آمریکا نیز روشی موسوم به روش SCS یا هیدروگراف واحد بدون بعد را در سال ۱۹۵۷ ارائه نموده است (۳).

روش دیگر، تحت عنوان هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، بر اساس ارتباط عوامل ژئومورفولوژی و اقلیم و هیدرولوژی، توسط Rodriguez-Iturb (۱۶) ارائه گردید. این روش با استفاده از پارامترهای کمی ژئومورفولوژی و سرعت جریان در اوج سیلاب در حوزه‌ها، هیدروگراف واحد را استخراج می‌نماید.

ایده‌ای که هیدروگراف استخراج شده از یک بارش لحظه‌ای دلالت بر ویژگی‌های شبکه هیدروگرافی حوزه داشته باشد، توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا در سال ۱۹۳۰ ارائه شد (۱۹). Clark ایده فوق را با تئوری هیدروگراف واحد تطبیق داده و برای اولین مرتبه کاربرد هیدروگراف واحد لحظه‌ای را برای آنالیز هیدروگراف معرفی نمود. این تئوری توسط محققانی نظیر Waymir و Gupta از دانشگاه می‌سی‌سی‌پی (۶)، Ramirez از دانشگاه کلرادو (۱۲) و نیز Vandertak (۲۱) بررسی شده و تحقیقات متعددی را جهت تکمیل و استخراج هیدروگراف به روش فوق در حوزه‌های مختلف انجام دادند و به نتایج قابل قبولی رسیدند. Rosso با استفاده از توزیع دو پارامتره گاما مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ناش و بدست آوردن پارامتر شکل و مقیاس با استفاده از روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی برای یک حوزه آبخیز در ایتالیا هیدروگراف را استخراج و نتایج مطلوبی را بدست آورد (۲۰).

روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای جهت کنترل سیلاب در حوزه آبخیز ویستالا در لهستان به کار گرفته شده و نتایج بدست آمده رضایت بخش بوده است (۲۴). در کشور چین و ونزولا استخراج هیدروگراف به روش مذکور مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج حاصله نسبت به سایر روش‌ها از کارایی

بهتری برخوردار بوده است (۷).

در ایران نیز، در حوزه پس کوهک شیراز این روش مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج در مقایسه با روش‌های SCS و اشنایدر مثلی با هیدروگراف مشاهده‌ای مطابقت بیشتری داشته است (۱). با استفاده از این روش ۶ مورد هیدروگراف برای حوزه آبخیز امامه تهیه و با هیدروگراف‌های SCS و اشنایدر و مثلی و هیدروگراف مشاهده‌ای مقایسه شده است که این روش با هیدروگراف تهیه شده به روش SCS مشابه و کارایی آن از هیدروگراف تهیه شده به روش اشنایدر برای حوزه مذکور کمتر گزارش شده است (۳). با استفاده از معادله ۱ و ۲، Rodriguez-Iturbe و همکاران (۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶) GIUH را محاسبه نمودند. آنها  $tp$  زمان تا اوج و  $qp$  دبی تا اوج را برای این منظور پیدا نمودند. پس از محاسبه  $qp$  و  $tp$  هیدروگراف مثلی استخراج خواهد شد.

Rosso از مؤسسه هیدرولیک دانشگاه ژنو ایتالیا در سال ۱۹۸۴، با استفاده از مدل گامای دو پارامتری که برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای توسط Nash (۱۹۴۵) ارائه شده بود استفاده نمود. نسبت‌های (L, RL, RB, RA) که به نسبت‌های هورتون معروف است و با به کارگیری دو رابطه برآورد دبی پیک و زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای، محاسبه پارامتر شکل  $K$  و پارامتر مقیاس  $K$  را با نسبت‌های هورتون ارائه نمود (۲۰).

روابط مربوط به پارامترهای  $k$  برای برآورد پارامترهای مدل Nash در پنج حوزه آبخیز در ایتالیا آزمایش شد و نتایج رضایت‌بخشی به دست آمد. روش‌های اخیر نهایتاً با تعدادی فرمول‌های رگرسیونی که از برخی ویژگی‌های حوزه، پارامترهای مدل Nash را به دست می‌آورند مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصله از روش‌های فوق با روش‌های قبلی از مطلوب‌تر بوده‌اند و برای حوزه‌هایی که نمی‌توان مستقیماً در آنها آنالیز رواناب- بارش را انجام داد قابل اجرا هستند. معادلات به دست آمده از تجزیه و تحلیل (GIUH) به‌علاوه دبی و زمان تا اوج به وسیله Valdes (۲۲) با IUH مشتق شده از دبی هیدروگراف ناشی از مدل‌های رواناب بارش برای چندین حوزه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

برخی محققین دیگر نظیر، Diaz-Granados (۵)، برای برآورد هیدروگراف رواناب در حوزه‌ها،

تئوری GIUH را مورد استفاده قرار دادند. نتایج به دست آمده رضایت‌بخش بوده است. تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH) برای برآورد پارامترهای دو نوع مدل مفهومی Linear cascade و مدل نوع Laurensen، به کار می‌رود. با استفاده از دو نوع مدل ذکر شده برای کنترل سیلاب، هیدروگراف GIUH در حوزه آبخیز Vistula لهستان استخراج شد. از نقشه‌های توپوگرافی برای محاسبه نسبت‌های هورتون و از مقطع عرضی برای محاسبه سرعت جریان استفاده شده است (۲۵).

براساس روش‌های ذکر شده پژوهش‌هایی در حوزه‌های رود Horn چکسلواکی انجام گرفت. براساس معادلات ارائه شده توسط Rosso (۲۰) و روش Moments پارامترهای مدل Nash محاسبه گردیدند. برای محاسبه سرعت متوسط، با استفاده از برداشت مقطع عرضی در خروجی هر حوزه، میانگین سرعت در اوج سیلاب‌ها برای هر حوزه جداگانه محاسبه شدند. سرعت‌های محاسبه شده توسط این روش با سرعت به دست آمده از مقادیر اشل (ارتفاع سطح آب) اندازه‌گیری شده مقایسه شدند. نتیجه به دست آمده است دال بر این است که سرعت محاسبه شده از روش Cross-Section برای GIUH مشخص در خروجی حوزه که مرتبط با دبی مقطع پر می‌باشد، قابل اعتماد است. براساس سه مدل فوق هیدروگراف محاسبه و با هیدروگراف‌های مشاهده شده مقایسه شدند، با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که برای شرایط فیزیوگرافی کشور چک مدل GIUH برآورد نسبتاً دقیقی از سیلاب‌ها را داشته است (۱۱). استخراج GIUH، با استفاده از توزیع نوع گاما در چین توسط Chang-Xing (۱۷) مورد آزمایش قرار گرفته است دو حوزه، به ترتیب با مساحت ۴/۲۴ کیلومتر مربع ۲۱/۱۷ کیلومتر مربع برای آزمایش مدل انتخاب شدند. هیدروگراف مشاهده شده و هیدروگراف مدل GIUH اختلاف زیادی نداشته‌اند.

با توجه به تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف، نتایج بدست آمده حاکی از آن است که استخراج هیدروگراف به روش‌های GIUH و GIUH نوع گاما دارای نتایج مطلوب‌تری نسبت به سایر روش‌های تهیه هیدروگراف مصنوعی بوده است. قابل ذکر است که هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی نوع گاما به‌دلیل تطابق با شکل واقعی هیدروگراف دارای کاربرد بهتری نسبت به روش‌های مشابه بوده است.

### مواد و روش‌ها

۱ - جمع آوری آمار و اطلاعات بارش و رواناب حوزه تهیه نقشه‌هایی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای حوزه آبخیز مورد مطالعه و استخراج نقشه‌های شبکه آبراهه‌ها، شیب، هیپسومتری، نقشه زیر حوزه‌های رتبه‌های ۱،۲،۳،۴ محاسبه پارامترهای ژئومورفولوژیکی کمی شامل، مساحت، طول آبراهه بالاترین رتبه حوزه پارامترهای نسبت انشعاب (RB)، نسبت مساحت (RA)، نسبت طول (RL)، همچنین پارامترهای ژئومتری حوزه (مساحت حوزه، طول آبراهه بالاترین رتبه حوزه و شیب رودخانه اصلی) با بهره گیری از نرم افزار ILWIS محاسبه و برآورد گردیده است.

۲ - استخراج بارش متناظر با دبی مشاهده‌ای و تعیین مدت تداوم بارش اضافی: در این قسمت پس از تعیین ۶ واقعه سیلاب منفرد در هر منطقه (دارای بارش متناظر با دبی مشاهده‌ای) که نسبت به بقیه سیلاب‌های واقعه از صحت و کیفیت بالاتری برخوردار بوده و در شرایط برفی نبوده است، اقدام به تعیین مدت تداوم بارش اضافی (مؤثر) با استفاده از روش‌های معمول شد.

۳ - استخراج هیدروگراف طبیعی (واقعی) و مصنوعی (اشنایدر، SCS و مثلثی) برای حوزه.

۴ - برآورد سرعت جریان در حوزه به روش همبستگی دبی و سرعت جهت برآورد پارامتر دینامیکی حوزه.

۵ - محاسبه زمان و دبی تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و نوع گاما و اختلاف دبی اوج محاسبه شده با هیدروگراف مشاهده‌ای و تعیین کارائی نسبی و همچنین سطح اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار).

### استخراج پارامترهای ژئومورفولوژی

جهت استخراج هیدروگرافها پارامترهای مورد نیاز ژئومورفولوژی محاسبه و در جدول شماره ۱ درج شده‌اند. مبنای رتبه‌بندی شبکه آبراهه‌ها روش استرالر بوده، که ذیلاً تعریف می‌شود.

الف- تمام شاخه‌هایی که به آنها شاخه دیگری متصل نمی‌شود به عنوان آبراهه رتبه اول (رتبه W) شناخته می‌شوند.

بر مبنای روابط بین هیدرولوژی و ژئومورفولوژی و اقلیم، تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی به منظور تهیه هیدروگراف واحد حوزه ارائه خواهد گردید. استخراج این هیدروگراف برای حوزه‌ها بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژیکی کمی و همچنین پارامتر دینامیکی حوزه‌ها یعنی سرعت جریان در اوج سیلاب صورت خواهد گرفت. بدین منظور حوزه آبخیز کسلیان در مازندران به دلیل وجود ایستگاه هیدروکلیماتولوژی در آن منطقه و نیز وجود هیدروگراف سیل و هیتوگراف بارش متناظر آن، به عنوان حوزه آبخیز مورد مطالعه انتخاب شده است.

حوزه آبخیز کسلیان با مساحت ۶۸۸۴ هکتار از زیر حوزه‌های رودخانه تالار در مازندران بشمار می‌رود. این حوزه به‌عنوان معرف مناطق کوهستانی و جنگلی با توجه به شرایط طبیعی و آب و هوایی می‌باشد. این حوزه بین عرض جغرافیایی ۳۵° ۵۸' ۳۰'' تا ۳۵° ۰۷' ۰۰'' و طول جغرافیائی ۵۳° ۱۰' ۳۰'' تا ۵۳° ۱۸' ۰۰'' واقع شده است. حوزه مذکور از شمال به کوه سینک و کوه چهارتب با ارتفاع ۱۱۰۰ و ۱۷۹۰ متر و از جنوب به کوه‌های میروزاد و کوه‌های گلرد با ارتفاع ۲۷۰۰ و ۳۳۴۹ متر و از غرب به گتوجا با ارتفاع ۲۰۴۳ و از شرق به یال چهاردره با ارتفاع ۱۶۱۳ متر محدود می‌شود. رودخانه اصلی حوزه از جنوب به طرف شمال‌غربی حوزه جریان داشته و در محلی به نام ولیکین از حوزه خارج می‌گردد.

شش واقعه منفرد بارندگی - رواناب که در میان سایر داده‌ها از کیفیت و صحت بالاتری برخوردار بوده، و نیز ذوب برف بر روی سیلاب حاصله از آنها تأثیر نداشت، جهت استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی انتخاب شده است. برای حوزه مذکور، ابتدا با استفاده از آمار بارش و رواناب مشاهده‌ای (واقعی)، هیدروگراف واحد طبیعی به استخراج گردید. سپس هیدروگراف مصنوعی به روش‌های اشنایدر، SCS و مثلثی تهیه شدند در نهایت هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GUIH)، و همچنین مدل Nash که توسط Rosso (۲۰) با تأکید بر پارامترهای ژئومورفولوژیکی کمی بسط و توسعه یافته است که شرح داده خواهند شد. مراحل تحقیق و دستیابی به نتایج لازم به ترتیبی که در ذیل آمده است اقدام شده است.

جدول شماره ۱ - پارامترهای ژئومورفولوژی جهت استخراج هیدروگراف

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	متوسط طول	متوسط مساحت به هکتار	روش	نسبت انشعاب	نسبت طول	نسبت مساحت
۱	۱۲۶	۰/۹۱	۲۱	هورتون	۲/۸-۲-۱۱	۱/۲-۲/۷-۶/۵۵	۲/۷۶-۴/۰۶-۱۴/۵
۲	۲۲	۰/۹۲	۱۲۶	رابطه شوم	۵/۴۹		
۳	۱۱	۱/۹۵	۴۷۴	میانگین هندسی	۵	۲/۲۵	۴/۰۵
۴	۱	۱۰/۴۱۸	۶۸۸۵	روش نسبت‌ها	۵/۹		
				روش ترسیمی	۴/۷۶	۲/۲۴	۵/۷۷

**برآورد دبی و زمان تا اوج هیدروگراف  
واحد ژئومورفولوژی**

جدول شماره ۲- مقادیر بارش اضافی و مدت زمان تداوم آن برای سیلاب‌های انتخابی حوزه کسپلیان

ردیف	زمان وقوع سیلاب	مقدار بارش اضافی mm	مدت زمان بارش اضافی ساعت
۱	۷۰/۲/۲۱	۷/۳۱	۸
۲	۷۳/۱/۷	۸/۵۸	۷
۳	۷۳/۷/۳۰	۶/۴۹	۴/۵
۴	۷۵/۷/۱۵	۱/۲۳	۵/۵
۵	۷۶/۲/۱۵	۱/۲۸	۲/۲۵
۶	۷۸/۲/۲	۲/۱۷	۳/۲۵

جدول شماره ۳ - سرعت برآورد شده برای هر دبی اوج در سیلاب‌های مشاهده‌ای در حوزه کسپلیان

ردیف	دبی اوج cms	سرعت m/s	تاریخ
۱	۱۲/۱	۲/۰۶	۷۰/۲/۲۱
۲	۱۲/۵۵	۲/۰۹	۷۳/۱/۷
۳	۱۱/۷	۲/۰۳	۷۳/۷/۳۰
۴	۲/۱۲	۱/۰۵	۷۵/۷/۱۵
۵	۳/۸۹	۱/۳۳	۷۵/۸/۲۱
۶	۵/۸۱	۱/۵۵	۷۸/۲/۲

برآورد پاسخ هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز به این روش، ارتباط بین پارامترهای ژئومورفولوژی و فیزیوگرافی یا عوامل ثابت و سرعت جریان متوسط در اوج هیدروگراف، یا عوامل غیر ثابت (دینامیکی) حوزه می‌باشد. هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) تابعی است از مقادیر، RB نسبت انشعاب، RA، نسبت مساحت، RL نسبت طول و L طول آبراهه اصلی در حوزه (طول آبراهه بالاترین رتبه با روش رتبه‌بندی استرالر) و متوسط سرعت جریان V، با تعیین دبی مقطع پر در چند مقطع از رودخانه می‌توان رابطه فوق را به دست آورد. برای تعیین سرعت جریان و معادله توانی همبستگی سرعت و دبی، آمار مربوط به دبی و سرعت جریان اندازه‌گیری شده برای هر سال جمع‌آوری گردید. سپس روی محور لگاریتمی X مقادیر دبی و محور لگاریتمی Y، مقادیر سرعت جریان ترسیم و بهترین خط برازش با استفاده از برنامه کامپیوتری (Excel) رسم گردید و پارامترهای معادله، مقادیر ضریب همبستگی

(R)، و مقادیر a و b تعیین گردید. چون سرعت جریان در پیک سیلاب برای محاسبه Qp و tp (دبی اوج و زمان تا اوج) نیاز است، مقادیر دبی اوج هیدروگراف مشاهداتی استخراج و با قراردادن در معادله، سرعت جریان هر رگبار تعیین شده است که در جدول شماره ۴ آورده شده است. برای هر رگبار، دبی و زمان تا اوج هیدروگراف از روابط ۱ و ۲ که توسط Rodriguez-Iturbide برای برآورد آنها ارائه شده، بدست آمده است (۱۷، ۱۶).

$$qp = \frac{1.31}{L\Omega} RL^{0.43} V \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$tp = \frac{0.44L\Omega}{V} \left(\frac{RB}{RA}\right)^{0.55} RL^{-0.38} \quad \text{رابطه ۲:}$$

qp: دبی اوج بر ۱-hr، ساعت tp، زمان تا اوج (ساعت) LΩ: طول آبراهه بالاترین رتبه در حوزه به کیلومتر  
RL: نسبت طول، V: سرعت متوسط جریان در اوج، متر بر ثانیه، RB: نسبت انشعاب، RA: نسبت مساحت  
qp و tp محاسبه شده از این روابط بر ساعت و به ساعت می‌باشد، چنانچه دبی به دست آمده از رابطه ۱ در مساحت حوزه آبخیز A و ارتفاع بارش مؤثر ir ضرب شود، دبی تا اوج هر رگبار بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$Qp = qp / 3600 \frac{ir}{100} A \quad \text{رابطه ۳:}$$

ب- هر گاه دو آبراهه با رتبه w به یکدیگر متصل شوند یک شاخه با رتبه w+1 ایجاد می‌شود بدین صورت که در محل اتصال هر دو شاخه رتبه اول، آبراهه رتبه دومی پدید آمده و تا جایی که به آبراهه رتبه دومی متصل شود ادامه پیدا می‌کند. از به هم پیوستن دو شاخه هم رتبه شاخه‌ای با رتبه بالاتر به وجود می‌آید.

ج- وقتی دو آبراهه با رتبه مختلف به هم بپیوندند، آبراهه به وجود آمده دارای رتبه آبراهه بزرگتر خواهد شد.

د- بالاترین رتبه آبراهه در یک حوزه آبخیز را، رتبه حوزه (Ω) گویند (۴، ۲۳).

**برآورد ارتفاع و مدت تداوم بارش اضافی**

با استفاده از روش نیمه لگاریتمی آب پایه هیدروگراف‌ها جدا شده و هیدروگراف سیلاب ترسیم و سپس ارتفاع رواناب محاسبه شده است. از برنامه کامپیوتری EXCESS.BAS که توسط عباسی (۲) تهیه شده، هیتوگراف بارش اضافی استخراج شده است، مقدار بارش اضافی و مدت زمان در جدول شماره ۲ آورده شده است. برای تعیین سرعت جریان آمار مربوط به دبی و سرعت اندازه‌گیری شده برای هر سال جمع‌آوری و سپس روی محور لگاریتمی X مقادیر دبی و محور لگاریتمی Y، مقادیر سرعت جریان ترسیم و بهترین خط برازش رسم گردید و پارامترهای معادله، مقادیر ضریب همبستگی (R)، و مقادیر k و m تعیین گردید. چون سرعت جریان در پیک سیلاب برای محاسبه Qp و tp (دبی اوج و زمان تا اوج) نیاز است، مقادیر دبی اوج هیدروگراف مشاهداتی استخراج و با قراردادن در معادله، سرعت جریان برای هر رگبار تعیین شده است که در جدول شماره ۳ درج شده است.

رابطه ۵: 
$$h(t) = (k\Gamma(\alpha))^{-1}(t/k)^{\alpha-1} \exp(-t/k)$$

رابطه ۵-الف: 
$$\alpha = 3.29(RB/RA)^{0.78} RL^{0.07}$$

رابطه ۵-ب: 
$$K=0.7(RA/RBRL)^{0.48} V^{-1} L$$

$h(t)$ : ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای به ساعت ( $K(1/hr)$ )، پارامتر مقیاس،  $RB$  نسبت انشعاب،  $\Gamma$ : پارامتر تابع گاما،  $t$  زمان به ساعت، پارامتر شکل  $L$ ، طول آبراهه اصلی بالاترین رتبه به متر،  $V$ : سرعت متوسط (متر بر ثانیه).

با توجه به روش فوق برای رگبارهای انتخاب شده هیدروگراف سیل تهیه گردیده است، در یک بررسی که توسط Meadows ( $\lambda$ ) انجام شده است سعی شده است که مقدار اوج (Peak rate factors) در هیدروگراف منحنی SCS را از طریق به‌کارگیری توزیع گاما و مدل ناش و محاسبه پارامتر شکل  $n$  و پارامتر مقیاس  $k$ ، را با استفاده از روابط (۵الف و ۵ب) بدست آورد. توزیع گامای دو متغیره با مدل Nash از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

رابطه ۶: 
$$h(t) = (k\Gamma(n))^{-1}(t/k)^{n-1} \exp(-t/k)$$

$h(t)$ : هیدروگراف واحد لحظه‌ای بر ساعت ( $K(1/hr)$ ): پارامتر مقیاس،  $n$ : پارامتر شکل،  $t$ : زمان به ساعت  
معادله ۶ را می‌توان براساس پیشنهاد (۱۹۶۳) Wu، به نقل از Meadows ( $\lambda$ ) به شکل عملی‌تر، رابطه ۷ نیز نوشت.

رابطه ۷: 
$$Q = Qp[(t/tp)\exp(1-t/tp)]^{n-1}$$

$A$  مساحت حوزه، به متر مربع،  $ir$  ارتفاع بارش مؤثر سانتیمتر،  $qp$  دبی اوج هیدروگراف واحد بر ساعت  $Qp$  دبی هیدروگراف جریان، متر مکعب بر ثانیه  
Rodriguez-Iturbe (۱۸)، رابطه ۴- را برای به دست آوردن زمان تا اوج هیدروگراف خروجی ارائه نموده است.

رابطه ۴: 
$$Tp = tp + 0.75tr$$

$TP$ : زمان تا اوج هیدروگراف خروجی، (ساعت)،  $tp$ : زمان تا اوج به ساعت،  $tr$  زمان بارش مؤثر، (ساعت)

براساس روابط شماره ۱ و ۲ دبی و زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در جدول شماره ۴ آورده شده است.  
هیدروگراف واحد لحظه‌ای برآورد شده، هیدروگراف واحد لحظه‌ای یک‌ساعته بوده و چنانچه مدت زمان بارش مؤثر بیش از یک‌ساعت باشد، هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای مدت زمان بارش مؤثر استخراج می‌شود

### استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای از تلفیق نسبت‌های هورتون با مدل Nash

Rosso از مؤسسه هیدرولیک دانشگاه ژنو ایتالیا در سال ۱۹۸۴، با استفاده از مدل گامای دو پارامتری رابطه ۵ که برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای توسط Nash (۱۹۴۵) ارائه شده بود استفاده نمود. نسبت‌های ( $L, RL, RB, RA$ ) که به نسبت‌های هورتون معروف است و با به‌کارگیری دو رابطه برآورد دبی پیک و زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای، محاسبه پارامتر شکل  $a$  و پارامتر مقیاس  $K$  رابطه ۵ الف و رابطه ۵ ب را با نسبت‌های هورتون ارائه نمود.

الف: پارامتر شکل  $a$  در مدل Nash بستگی به نسبت‌های هورتون (نسبت مساحت  $RA$ ، نسبت انشعاب  $RB$  و نسبت طول  $RL$ ) دارد. بنابراین ژئومورفولوژی حوزه آبخیز بر شکل هیدروگراف تأثیر دارد.  
ب: پارامتر مقیاس ( $k$ ) از ویژگی‌های تغییرات زمانی است که بستگی به ژئومورفولوژی و سرعت جریان در شبکه آبراهه دارد.

جدول شماره ۴ - دبی تا اوج و زمان تا اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی حوزه کسلییان

ردیف	دبی تا اوج $h^{-1}$	زمان تا اوج	تاریخ وقوع سیلاب
۱	۰/۳۶۶	۱/۴۷	۷۰/۲/۲۱
۲	۰/۳۷۲	۱/۴۵	۷۳/۱/۱۱
۳	۰/۳۶۱	۲/۵۰	۷۳/۷/۳۰
۴	۰/۱۸۷	۲/۸۹	۷۵/۷/۱۵
۵	۰/۲۳۷	۲/۲۸	۷۵/۸/۲۱
۶	۰/۲۷۶	۱/۹۶	۷۸/۲/۲

### تجزیه و تحلیل آماری نتایج

پس از استخراج هیدروگراف سیلاب‌ها بارش‌های مصنوعی SCS، مثلثی، اشنايدر، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی نوع گاما (Rosso) این هیدروگراف‌ها با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای مقایسه شدند.

### آزمون مقایسه میانگین‌ها (Range test)

این آزمون برای مقایسه میانگین‌ها و یافتن اختلاف معنی‌دار بین آنها به کار می‌رود. در این تحقیق از روش LSD استفاده شده و اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بین روش‌های آزمون شده وجود ندارد. این بدان معنی است که بین روش‌های مصنوعی و با هیدروگراف مشاهده‌ای اختلافی وجود ندارد. در حوزه‌های مشابه امکان استفاده از روش‌های فوق وجود دارد.

### روش آماری کارائی نسبی

در روش قبل با آزمون مقایسه میانگین‌ها و میانه‌ها بین روش‌های مختلف از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. به‌منظور بررسی این امر که کدام هیدروگراف مشاهده‌ای دارای اختلاف کمتری می‌باشد از روش آماری کارائی نسبی استفاده شده است. هر چه داده‌های به‌دست آمده از روش‌های مصنوعی به داده‌های مشاهده‌ای نزدیکتر باشد نشان‌دهنده دقت و اعتبار روش می‌باشد. در این روش میزان اختلاف دبی‌های اوج مشاهده‌ای تعیین شده و سپس کارائی آن مشخص می‌شود.

### مقایسه دبی اوج هیدروگراف‌های مصنوعی با هیدروگراف مشاهده‌ای

برای تحلیل نتایج بدست آمده، ابتدا مقادیر اختلاف بدست آمده از روش‌های مصنوعی با هیدروگراف مشاهده‌ای مطابق رابطه ۱۲ تعیین می‌شود.

$$R_{EI} = \frac{Q_{OP} - Q_{CP}}{Q_{OP}} \times 100 \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$R_{EI}$ : درصد اختلاف  $Q_{OP}$  یا درصد خطای نسبی: دبی اوج هیدروگراف مشاهده‌ای به مترمکعب بر ثانیه  $Q_{CP}$ : دبی اوج هیدروگراف مصنوعی به متر مکعب بر ثانیه

با استفاده از رابطه ۱۳ مقادیر اختلاف بین دبی‌های اوج مصنوعی و مشاهده‌ای محاسبه و برای حوزه کسپیلیان در جداول شماره ۵ درج شده است.

### میانگین خطای نسبی (RME)

این آمار با استفاده از روابط ۱۴ و ۱۵ Medenhall و همکاران محاسبه می‌شود (۹).

$$RME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{EI} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$R_{EI}$ : درصد خطای نسبی در هر برآورد،  $N$ : تعداد برآورد،  $Q_{CP}$ : دبی اوج مشاهده‌ای،  $Q_{OP}$ : دبی اوج محاسبه‌ای این آماره بدون بعد بوده و درصد خطای برآورد شده را حول مشاهده شده نشان می‌دهد. مقادیر RME برای حوزه کسپیلیان با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه شده است.

$Q$ : ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای  $Q_p$ : دبی اوج هیدروگراف،  $t$ : زمان به ساعت،  $tp$ : زمان تا اوج به ساعت  
مقدار  $Q_p$  از رابطه ۸ برآورد می‌شود.

$$Q_p = PRF A / tp \quad \text{رابطه ۸}$$

$A$ : مساحت حوزه و  $PRF$  (peak Rate Factor) که از رابطه ۹ محاسبه می‌شود  $P(Mccuen (10))$ : مقدار رواناب شاخه صعودکننده

$$PRF = 1290.67P \quad \text{رابطه ۹}$$

چنانچه مقادیر  $n = 4/7$  و  $p = 37\%$  باشد  $PRF = 484$  خواهد بود. روسو نشان داده است که معادله ۹ را می‌توان به شکل ۱۰ یعنی حاصل ضرب  $qp \cdot tp$  نوشت (۲۰). که  $qp$  از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$qp \cdot tp = 0.58(RB/RA)^{0.55} RL^{0.05} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$qp = \frac{Q_p}{A} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$A$ : مساحت حوزه،  $Q_p$ : دبی هیدروگراف واحد لحظه‌ای

مقایسه رابطه ۱۰ و رابطه ۸ و با جایگزینی رابطه ۱۱ و استخراج رابطه ۱۲، منجر به محاسبه  $PRF$  خواهد شد که از رابطه ۱۳ بدست می‌آید.

$$Q_p = \frac{PRFA}{tp}, \quad qp = \frac{Q_p}{A} \Rightarrow Q_p = qpA \quad \text{رابطه ۱۲}$$

رابطه ۱۳:

$$\frac{PRFA}{tp} = qpA \Rightarrow PRF = tp \cdot qp \quad PRF = 0.58(RB/RA)^{0.55} RL^{0.05}$$

مقدار  $PRF = 484$  نمی‌تواند پاسخگوی تمامی حوزه‌ها باشد و مقدار بیشتر و کمتر نیز به دست آمده است. بنابراین با استفاده از رابطه ۱۳ که براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوزه‌ها قرار دارد مقدار  $PRF$  برای هر حوزه با ویژگی خاص قابل محاسبه است به نقل و اقتباس از Meadows (۸).

به منظور مقایسه هیدروگراف‌های استخراج شده با هیدروگراف مشاهده‌ای و هیدروگراف‌های اشنايدر و SCS و مثلثی، هیدروگراف‌های مذکور برای سیلاب‌های انتخابی استخراج گردیدند. این هیدروگراف‌ها در نمودارهای شماره ۱ تا ۶ نمایش داده شده‌اند.

جهت تعیین نحوه پراکنش برآورد شده حول مشاهده شده از میانگین توان دوم خطاها یعنی MSE و از رابطه ۱۶ و ۱۷ استفاده شده است.

$$SE = (Q_{op} - Q_{cp})^2 \quad \text{رابطه ۱۶:}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{Ei} \quad \text{رابطه ۱۷:}$$

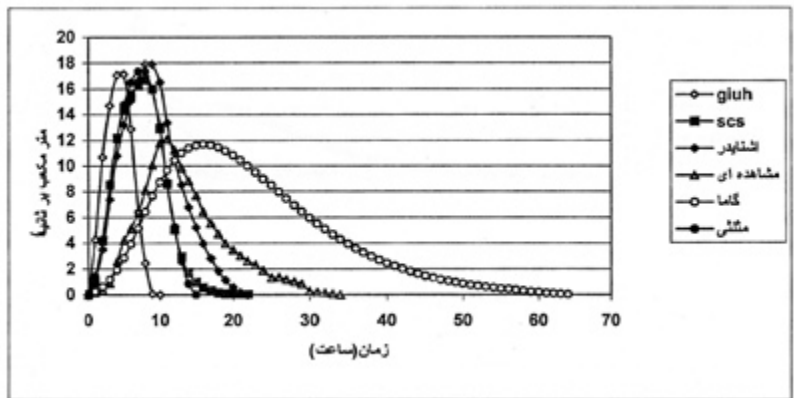
$S_{Ei}$ : مربع خطا حول مقدار مشاهده شده در هر برآورد

شاخص MSE برآوردکننده خوبی برای نحوه پراکنش برآورد شده حول مشاهده شده می‌باشد. با استفاده از این شاخص کارائی نسبی روش‌ها در حوزه کسپلیان تعیین و در جدول شماره ۶ درج شده است. با استفاده از جدول ۶ در حوزه کسپلیان هیدروگراف نوع گاما از سایر روش‌ها کارائی بهتری داشته و روش GIUH دارای کارائی کمتر بوده است

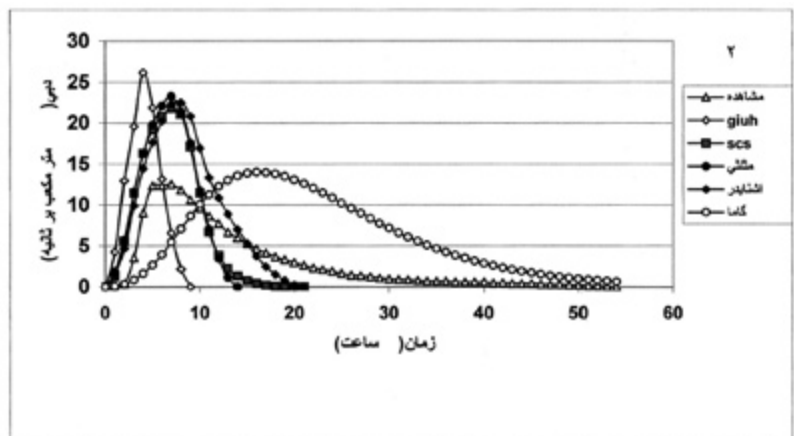
### بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه روش‌های مختلف تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی انجام و نتایج با هیدروگراف سیلاب‌های مشاهده‌ای در حوزه کسپلیان مقایسه گردید. روش مقایسه در این تحقیق روش آماری آزمون LSD و نیز روش کارائی نسبی بوده و چون هدف این پژوهش واسنجی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GUIH) بوده است، به دو روش این هیدروگراف تهیه گردید، روش اول با بدست آوردن دبی اوج و زمان تا اوج، که هیدروگراف آن مثلی ترسیم می‌شود. در روش دوم با استفاده از مدل Rosso، که با استفاده از توزیع دو پارامتری گاما که توسط Nash ارائه شده است، هیدروگراف محاسبه و ترسیم می‌گردد.

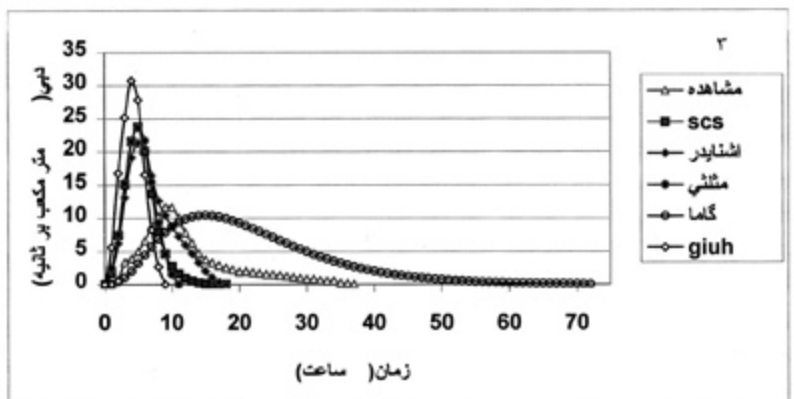
در مدل GUIH علاوه بر پارامترهای ژئومورفولوژیکی که ساختار کلی مدل را شکل می‌دهند، متغیرهای توزیع زمانی بارش اضافی (مؤثر) و خصوصیات هیدرولیکی بستر جریان رودخانه خروجی از حوزه نیز بسیار حائز اهمیت است. با در دست داشتن زمان و مقدار بارش اضافی (مؤثر) و با توجه به ثابت بودن عوامل ژئومورفولوژیکی کمی حوزه و با به کارگیری پارامتر سرعت (عامل دینامیکی حوزه و تابع شدت و مدت بارندگی) به سادگی هیدروگراف هر بارش قابل استخراج است. براساس آزمون LSD، به دلیل اینکه بین میانگین اختلاف دبی اوج هیدروگراف‌های محاسبه‌ای با مشاهده‌ای (واقعی) و نیز میانگین مجموع مربع خطاها، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد،



نمودار شماره ۱- هیدروگراف سیلاب مورخه ۱۳۷۰/۲/۱



نمودار شماره ۲- هیدروگراف سیلاب مورخه ۱۳۷۳/۱/۷

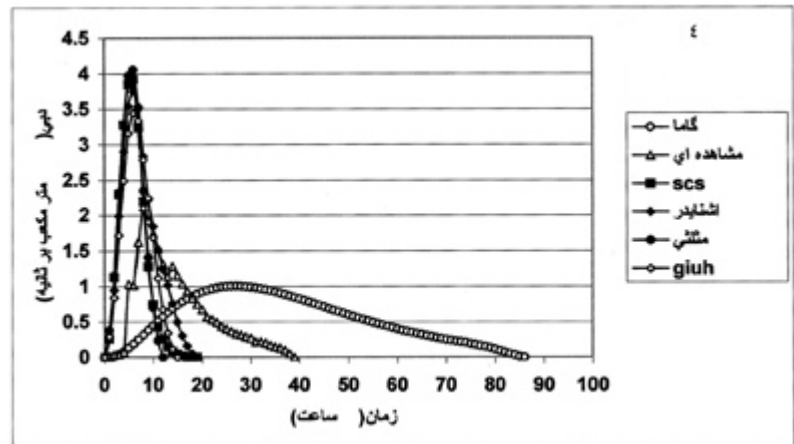


نمودار شماره ۳- هیدروگراف سیلاب مورخه ۱۳۷۳/۷/۳۰

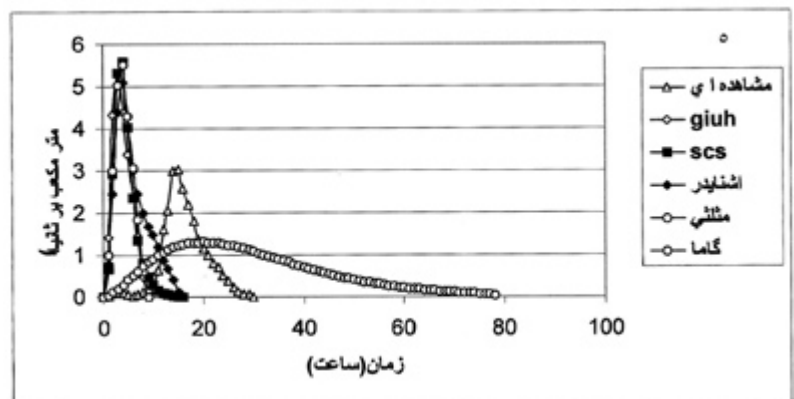
بنابراین هر پنج روش برای تهیه هیدروگراف در حوزه کسبیلیان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در حوزه کسبیلیان هیدروگراف‌های بدست آمده از روش GIUH از سایر روش‌ها کارایی کمتری داشته و هیدروگراف GIUH نوع گاما از سایر روش‌ها دارای کارایی بیشتری بوده است. قابل ذکر است که در پژوهش دیگری که در حوزه امامه توسط نگارنده انجام شده است روش گاما و روش GIUH با روش مثلثی و SCS دارای کارایی یکسان بوده لیکن کارایی آن از روش اشنایدر کمتر بوده است. در یک بررسی که توسط Meadows (۸) انجام شده است سعی شده است که مقدار PRF (peak rate factors) در هیدروگراف منحنی SCS را از طریق به کارگیری توزیع گاما و مدل ناش و محاسبه پارامتر شکل n و پارامتر مقیاس k، را با استفاده از روابط ژئومورفولوژی یعنی روابط ارائه شده توسط Rosso (۲۰) انجام دهد. مقدار  $PRF=484$  نمی‌تواند پاسخگوی تمامی حوزه‌ها باشد و مقدار بیشتر و کمتر نیز به دست آمده است. بنابراین با استفاده از روابطی که براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوزه‌ها قرار دارد مقدار PRF برای هر حوزه با ویژگی خاص قابل محاسبه است. با توجه به اینکه مقدار ارائه شده متوسط می‌باشد چنانچه بتوان با استفاده از این روش برای هر حوزه به مقدار واقعی آن دست یافت هیدروگراف بدست آمده دارای دقت بیشتری خواهد بود. در هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی حاصل ضرب دبی اوج (qp) در زمان تا اوج (tp) که مستقل از سرعت می‌باشد به عنوان عامل همگنی نیز نامیده می‌شود

### منابع مورد استفاده

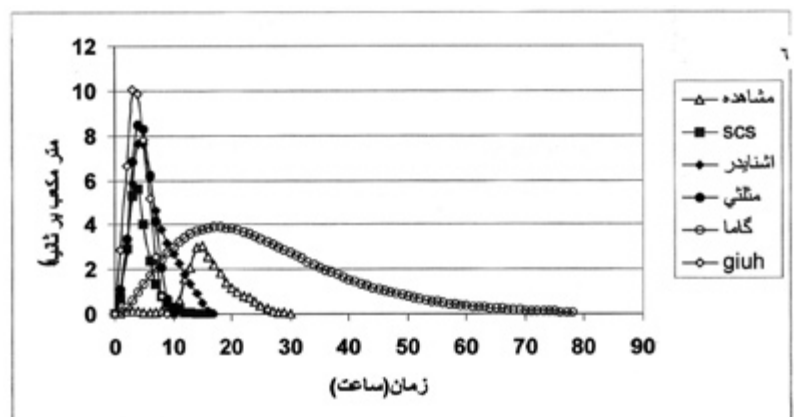
- ۱- رحیمیان و زارع م، ۱۳۷۴؛ کاربرد مدل هیدروگراف واحدهای لحظه‌ای ژئومورفولوژی جهت بررسی در حوزه‌های فاقد آمار، مجموع مقادیر سومین سمینار هیدروولوژی وزارت نیرو ص ۲۲۷-۲۰۳
- ۲- عباسی، علی‌اکبر، ۱۳۷۱؛ تهیه و کالیبراسیون مدل کامپیوتری برآورد رواناب برای حوزه‌های آبخیز کوچک، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف
- ۳- غیائی نجفقلی، ۱۳۷۵؛ کاربرد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در حوزه آبخیز امامه؛ پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران
- 4- Bras R.L., 1990; An introduction to hydrologic science, Concept of Fluvial Geomorphology, P, 567 - 617.
- 5-Diaz - Granados M.A , Valdes J.B, Bras R.L, 1984; A physically based flood frequency distribution , Wat. Resour. Res, 20



نمودار شماره ۴- هیدروگراف سیلاب مورخه ۱۳۷۵/۷/۱۵



نمودار شماره ۵- هیدروگراف سیلاب مورخه ۱۳۷۶/۲/۱۵



نمودار شماره ۶- هیدروگراف سیلاب مورخه ۱۳۷۸/۲/۲



جدول شماره ۵- مقایسه مقادیر دبی اوج محاسبه شده با محاسبه‌ای در حوزه کسپلیان

تاریخ وقوع	مقادیر مقایسه روش	اشنایدر	SCS	مثلی	GUIH	نوع گاما (ROSSO)	مشاهداتی
۷۰/۲/۲۱	دبی اوج ( $m^3 / Sec$ )	۱۷/۹۲	۱۶/۶۸	۱۷/۳۵	۱۷/۱۴	۱۱/۶۹	۱۲/۱
	درصد اختلاف دبی اوج (RE)	۴۸/۱	۳۷/۸۵	۴۳/۳۹	۴۳/۸۰	۳/۳۹	۰
	مجموع مربع خطاها (SE)	۳۳/۸۷	۲۰/۹۸	۲۷/۵۶	۲۷/۰۹	۰/۱۷	۰
۷۳/۱/۷	دبی اوج ( $m^3 / Sec$ )	۲۲/۳۵	۲۱/۸۰	۲۳/۲۷	۲۶/۱۸	۱۴/۰۳	۱۲/۵۵
	درصد اختلاف دبی اوج (RE)	۷۸/۰۹	۷۳/۷۱	۸۵/۴۲	۱۰۸/۶۱	۱۱/۷۹	۰
	مجموع مربع خطاها (SE)	۹۶/۰۴	۸۵/۵۶	۱۱۴/۹۲	۱۸۵/۷۸	۲/۱۹	۰
۷۳/۷/۳۰	دبی اوج ( $m^3 / Sec$ )	۲۱/۳۵	۲۳/۷۳	۲۳/۶۷	۳۰/۷۶	۱۰/۴۷	۱۱/۷
	درصد اختلاف دبی اوج (RE)	۸۲/۴۹	۱۰۲/۸۲	۱۰۲/۳۱	۱۶۲/۹۱	۱۰/۵۱	۰
	مجموع مربع خطاها (SE)	۹۳/۱۲	۱۴۴/۷۲	۱۴۴/۲۸	۳۶۳/۲۸	۱/۵۱	۰
۷۵/۷/۱۵	دبی اوج ( $m^3 / Sec$ )	۳/۷۵	۳/۹۲	۴/۰۵	۳/۳۴	۰/۹۹	۲/۱۲
	درصد اختلاف دبی اوج (RE)	۷۶/۸۹	۸۴/۹۱	۹۱/۰۴	۵۸/۷۳	۵۳/۳۰	۰
	مجموع مربع خطاها (SE)	۲/۶۶	۳/۲۴	۳/۷۲	۱/۵۰	۱/۲۸	۰
۷۶/۲/۱۵	دبی اوج	۵۱/۰۹	۵/۵۸	۵/۵۰	۵/۳۳	۱/۳۱	۳/۰۴
	درصد اختلاف دبی اوج (RE)	۶۷/۴۳	۸۳/۵۵	۸۰/۹۲	۷۵/۳۳	۵۶/۹۱	۰
	مجموع مربع خطاها (SE)	۴/۲۰	۶/۴۵	۶/۰۵	۵/۲۴	۲/۹۹	۰
۷۸/۲/۲	دبی اوج ( $m^3 / Sec$ )	۷/۶۴	۸/۸۸	۸/۴۷	۱۰/۰۷	۳/۸۸	۵/۸۱
	درصد اختلاف دبی اوج (RE)	۳۱/۵۰	۵۲/۸۴	۴۵/۷۸	۷۳/۳۲	۳۳/۲۲	۰
	مجموع مربع خطاها (SE)	۳/۳۵	۹/۴۲	۷/۰۷	۱۸/۱۵	۳/۷۲	۰

جدول شماره ۶- مقدار کارائی نسبی هیدروگرافها در حوزه کسپلیان

روش	اشنایدر	مثلی	SCS
GUIH	۲/۵۸	۱/۹۹	۲/۲۲
گاما	۰/۰۵۸	۰/۰۳۲	۰/۰۴۴

(7) : 995 – 1002

6- Gupta vijay K. and Waymire E, 1983 ; on the formulation of an analytical basin scale, J. of Hydr , (65) : 95 - 123

7- Ginchang- xing, ,1993; Deterministic gamma type geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types, Water Resources Research. Vol 28, No 2

8- Meadows M.E. , 1987; Engineering hydrology, Edited by feldman arlen.D

9-Mendenhall W., Wacjerly D.D, Scheaffer R.L 1990 ; Mathematical statistics with applications: Pws - kent.

10- Mccuen R.H. and Bondelid T.B ,1983; Estimation unit hydrograph peak rate factors, J. of Irr. and drainage Eng.(109) 238 - 249

11-Pristachova, 1990; Hydrology of mountainous areas, IAHS, pub, No, 190.

12-Ramirez Gorge A. ,2000; Geomorphologic instantaneous unit hydrograph" Colorado state university

13- Rodriguez – Iturbe,1993; the geomorpologic unit hydrograph; In Channel Network Hydrology, Edited by Beven K.

14-Rodriguez - Iturbe I. 1982 ; On the climatic dependence of the full: A rainfall - runoff analysis of the Nash model and the geomorphologic theory, Water Resour, Res. 18 (4) : 887 - 903

15-Rodriguez -Iturbe, Bras R.L. 1982 ; A geomorphoclimatic theory of the Instantaneous unit hydrograph; Water Resources. Research, 18 (4) , 877 - 886

16-Rodriguez - Iturbe, Iturbe I., Valdes J.B, 1979; The geomorphologic structure of hydrologic response" : Water

Resources. Research 15 (6), 1409 - 1421

17-Rodriguez - Iturbe I , Escobar L.A,1982 ; The dependece of drainage density on climate and geomorphology; Hydro, sci, J. 27,2,6

18-Rodriguez - Iturbe I.1981; The couplling of climate and geomorphology in rainfall - runoff analysis; Wat Resour Pub. (WRP) Missi. State university. U.S.A

19-Rodriguez - Iturbe I. and Devoto G. and valdes J.B. 1979; Discharge response analysis and hydrologic similarity the interrelation between the geomorphologic IUH and the storm characteristccs, Wat. Resour. Res 15 (6): 1435 - 1444

20-Rosso R. , 1984 ; Nash model related to Horton order ratios : Wat. Resour. Res, 20 (7) : 914 - 920

21- Van Der Tak L.D.,Bras R.L. 1990; incorporating hillslope effects into the geomorphologic Instantaneons unit hydrograph": wat resour. res 26 (10): 2393 - 2400

22-Valdes J.B Fiallo Y. and rodriguez - Iturbe I. ,1979 ; A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH, Wat. Resour. Res. 15 (6) : 1421-1430

23-Wanielista Martin P. 1990 ;Hydrology and water quality control.,

24- Wood Eric F., Sivapalan, M., Beven Keith and Band Larry. 1988 ; Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling. J. of Hydro 102 : 29 - 47

25-Zeiazinski Janvsz , 1986 ; Application of the geomorphological instantaneous unit hydrograph theory to development of forecasting models in poland, Hydro. Science J. 31. 261.

