

# مقایسه روش‌های مختلف بر آورد دبی بیشینه سیلاب در حوزه آبخیز کوشک‌آباد، خراسان رضوی

حسین ایزانلو<sup>۱</sup>، دانش آموخته کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس  
مهدی وفاخواه، استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۷/۱۳

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۱/۲۰

## چکیده

برآورد سیل با دوره بازگشت معین، برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی، تثبیت سواحل رودخانه، پروژه‌های آبخیزداری و پهنه‌بندی سیل یکی از عناصر مهم محسوب می‌شود. حوزه آبخیز کوشک‌آباد یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوزه کشف‌رود در شمال شرق ایران، با مساحت ۸۷/۴۵ کیلومترمربع در ۱۱ کیلومتری مشهد، به‌لحاظ داشتن شرایط خاص اقلیمی و توپوگرافی همواره در معرض وقوع سیلاب‌های مخرب و خسارت‌های ناشی از آن است. در این تحقیق، برای برآورد دبی بیشینه سیلاب حوزه از سه روش مدل هیدرولوژیکی بارش-رواناب HEC-HMS، تحلیل فراوانی سیلاب و معادله‌های تجربی کریگر، دیکن و فانینگ استفاده شده است. روش درصد خطای نسبی دبی پیک سیل نیز، برای مقایسه برآوردی دبی بیشینه سیل مربوط به روش‌های مزبور به‌کارگرفته شده است. در روش تحلیل فراوانی سیلاب به‌دلیل این‌که ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه (حوضه کشف‌رود)، فاصله زیادی از نظر مکانی با حوضه مورد مطالعه داشته، بعضاً دارای شرایط اقلیمی و توپوگرافی متفاوتی با حوضه مورد تحقیق هستند. این روش تفاوت قابل توجهی در برآورد دبی بیشینه سیل حوزه کوشک‌آباد در مقایسه با دو روش دیگر داشته، بدین منظور قابل استناد نیست. در شبیه‌سازی بارش-رواناب با HEC-HMS پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز، برای تهیه هیدروگراف سیل، از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) در تبدیل رابطه بارش-رواناب در سطح حوضه، و نیز روندیابی آبراهه‌های اصلی به‌روش ماسکینگام به‌منظور استخراج هیدروگراف سیل خروجی حوضه استفاده شد. واسنجی لازم برای پارامتر تلفات اولیه صورت گرفته، با توجه به نتایج واسنجی مدل مزبور در حوضه مورد مطالعه، برای برآورد دبی بیشینه سیل قابل استناد است. هم‌چنین نتایج برآوردی معادله‌های تجربی به‌کارگرفته شده نیز به‌دلیل کالیبره شدن با شرایط منطقه، قابل استناد با مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای حوضه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فراوانی سیلاب، کریگر، دیکن، فانینگ، مدل HEC-HMS

## مقدمه

مطالعه، تجزیه و تحلیل و محاسبات هیدرولوژیکی به‌منظور برنامه‌ریزی و اجرای عملیات مهندسی آب و آبخیزداری در کشوری نظیر ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و عوامل بوم‌شناختی، فوق‌العاده حائز اهمیت است. به‌طوری که اجرای هرگونه فعالیت‌های مهندسی در زمینه بهره‌برداری اصولی و علمی از منابع آب و کنترل هزآب‌های سطحی و سیلاب‌ها بدون مطالعه دقیق و شناخت خوب از خصوصیات هیدرولوژیکی منطقه غیر ممکن است (خانی، ۱۳۸۲). از این‌رو تبیین الگوهای مبتنی بر آمار و اطلاعات مشاهده‌ای و منطبق با شرایط منطقه، برای برآورد رواناب در آبخیزها فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری آب را می‌توان گامی مثبت در جهت برنامه‌ریزی درست برای مدیریت منابع آبخیزها به‌شمار آورد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که موضوعات مرتبط با این تحقیق عمدتاً در مطالعات هیدرولوژی

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول gghizanloo@yahoo.com

انجام شده به صورت تجربی، تحلیل منطقه‌ای سیلاب و استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بارش-رواناب<sup>۱</sup> در نواحی مختلف صورت گرفته است. یکی از راهکارهای مناسب برای پیش‌بینی سیلاب‌ها بهره‌گیری از آمار دبی بیشینه لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری در هر منطقه می‌باشد، ولی به دلیل نبود این ایستگاه‌ها و یا آمار ناقص و کوتاه‌مدت در بیش‌تر مناطق کشور می‌بایست با بهره‌گیری از روش‌هایی، نسبت به برآورد مناسب دبی سیلابی در آن مناطق اقدام نمود (پایروند و همکاران، ۱۳۸۹).

در تحقیقی، Creager و Jusin (۱۹۵۵) برای تعیین دبی اوج سیل در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، معادله‌ای با کاربرد فراوان به نام کریگر ارائه دادند. Suwanwerakamtorn (۱۹۹۴) با استفاده از مدل HEC-1؛ اثرات تغییر کاربری اراضی بالادست حوزه آبخیز را بر دبی اوج سیلاب در نواحی پایین‌دست حوضه مورد ارزیابی قرار داد. Lakhtakia و همکاران (۱۹۹۹) با آزمون توانایی مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف، در حوضه Susquehanna با مقایسه دبی خروجی در ایستگاه هیدرومتری انتهای حوضه به این نتیجه رسیدند که کارایی مدل HEC-HMS<sup>۲</sup> در برآورد دبی اوج سیل بالاست.

در تحقیق دیگری، Liong و همکاران (۲۰۰۰) برای پیش‌بینی سیل‌های مخرب بنگلادش، از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرده و نتایج آن را با تحلیل حساسیت، قابل قبول می‌دانند. Foody و همکاران (۲۰۰۴) در منطقه‌ای در غرب مصر از مدل HEC-HMS به منظور برآورد دبی بیشینه سیل زیرحوضه‌ها استفاده نمودند؛ نتایج اجرای مدل نشان‌دهنده این بود که دو زیرحوضه در معرض دبی پیک بیش از ۱۱۵ مترمکعب در ثانیه بوده، به‌عنوان مناطق حساس محسوب می‌شوند. Hassanzadeh و Aalami (۲۰۰۵) نیز با استفاده از مدل HEC-HMS درحوزه آبخیز سد گلستان مبادرت به محاسبه دبی بیشینه سیل زیرحوضه‌ها و تعیین سیل‌خیزی آن‌ها نمودند.

هم‌چنین، Ouarda و همکاران (۲۰۰۶) در حوزه‌های آبخیز استان Quebec کانادا تحت پروژه Jack-Knife اقدام به منطقه‌بندی مناطق هم‌گن بر اساس دو روش سنتی ترسیم فیزیوگرافی مناطق هم‌گن و دیدگاه هیدرولوژیکی آستانه دبی پیک با تجزیه و تحلیل فصلی فراوانی منطقه‌ای سیلاب نمودند و روش مبتنی بر پایه تجزیه و تحلیل فصلی فراوانی منطقه‌ای سیلاب را در منطقه‌بندی مناطق هم‌گن مناسب دانستند. نجیب (۱۳۷۲) برای بررسی ضریب منطقه‌ای سیل‌خیزی ایران از تجزیه و تحلیل سیلاب‌ها به‌عنوان روشی مطمئن برای تعمیم اطلاعات استفاده کرده، در این مناطق رابطه بین ضریب سیل‌خیزی و پارامترهای اقلیمی را در نقشه‌هایی ترسیم کرد.

قاسم‌پور (۱۳۷۴) با تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب غرب مازندران و با استفاده از مقادیر اصلی و لگاریتمی بیشینه‌های دبی لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف به‌عنوان متغیر وابسته و مقادیر اصلی و لگاریتمی خصوصیات حوضه‌های بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری به‌عنوان متغیرهای مستقل، روابط رگرسیون چندگانه با روش‌های پیش‌رو و پس‌رو، مناسب‌ترین مدل‌ها برای تخمین دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف را ارائه کرد. جعفرزاده (۱۳۷۸) روش‌های مختلف برآورد دبی بیشینه سیلاب بر مبنای سطح حوزه آبخیز را برای استان گیلان مقایسه کرده، در نهایت روابط تجربی مناسب با ضریب همبستگی قابل قبول ارائه کرد.

غنی‌پورتوپراق قلعه (۱۳۷۹) برای مناطق مختلف استان آذربایجان غربی برای محاسبه متوسط دبی پیک، معادله‌ای متناسب با شرایط منطقه ارائه داد. جمالی (۱۳۸۰) اقدام به واسنجی ده مدل تجربی برآورد دبی بیشینه سیلابی، برای حوزه‌های آبخیز بزرگ و اصلی ایران کرده، بیان می‌دارد که برای استفاده بیش‌تر روابط تجربی در کل کشور بهتر است تا سطح حوضه بیش‌تر از ۱۴۰۰ و کم‌تر از ۲۴۰۰ کیلومتر مربع باشد تا تخمین درست‌تری از دبی بیشینه به‌دست آید. شقایب‌فلاح (۱۳۸۰) با برآورد دبی بیشینه سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز محمدآباد استان گلستان و مقایسه آن با روش شیب-سطح به این نتیجه رسید که مدل HEC-HMS نتایج بسیار نزدیکی به واقعیت می‌دهد.

<sup>۱</sup> Rain-Runoff

<sup>۲</sup> Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System

خانی (۱۳۸۲) اقدام به ارزیابی سه روش تجربی فولر، کریگر و دیکن، روش سیل نمایه، روش همبستگی غیر خطی چندگانه و روش همبستگی با استفاده از پارامترهای مختلف برای برآورد دبی بیشینه سیل در حوزه‌های آبخیز استان آذربایجان غربی کرد و در انتها روابطی را برای حوزه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری پیشنهاد داد. موسوی (۱۳۸۳) پهنه‌بندی قابلیت سیل‌خیزی حوزه آبخیز چهل‌گری استان کردستان را با استفاده از GIS و مدل HEC-HMS مورد بررسی قرار داده، آن را با پهنه‌بندی قابلیت سیل‌خیزی با بهره‌گیری از تحلیل منطقه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری، روش کریگر و فولر مورد مقایسه قرار داد و بیان داشت که مدل HEC-HMS روشی بسیار دقیق و کاربردی است. Karl و Lohani (۲۰۱۰) برای توسعه سیستمی به‌منظور پیش‌بینی وقوع سیل برای حوزه‌های پایین‌دست حداکثر سیلاب جاری شده در ۱۲ سال و مدت زمان عبور هر یک را به‌جای سری‌های زمانی جریان، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. هدف از اجرای این مطالعه، مقایسه روش‌های مختلف برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای مبتنی بر آمار دبی ایستگاه‌ها و روش‌های از قبیل مدل‌های هیدرولوژیکی است، تا با ارائه روشی مناسب با توجه به اطلاعات موجود از ویژگی‌های حوزه آبخیز کوشک‌آباد خراسان رضوی و حوزه‌های مشابه، تخمین دبی سیلابی با دید همه‌جانبه‌ای صورت گیرد.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** حوزه آبخیز کوشک‌آباد در استان خراسان رضوی در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه الی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی، با ارتفاع متوسط ۱۷۰۵ متر، شیب متوسط بالای ۲۵ درصد و اقلیم خشک تحت تاثیر توده هوای سیبری، در شمال غرب مشهد واقع شده است. مساحت حوضه ۸۷/۴۵ کیلومتر مربع بوده و به ۱۰ زیرحوضه تقسیم شده است.

## روش تحقیق

برای برآورد دبی بیشینه سیلاب روش‌های متعددی وجود دارد که انتخاب هر کدام از آن‌ها شرایط خاص خود را می‌طلبد. در این تحقیق، معادله‌های تجربی کریگر، دیکن و فانینگ، روش تجزیه و تحلیل آمار مشاهده‌ای سیلاب‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری و روش شماره منحنی SCS با استفاده از شبیه‌سازی بارش-رواناب مدل HEC-HMS مورد استفاده قرار گرفت. مراحل کار در استفاده از روابط تجربی کریگر، دیکن و فانینگ، به‌ترتیب شامل تعیین ایستگاه‌های هم‌گن، تحلیل نقطه‌ای سیلاب ایستگاه‌های مورد نظر با نرم‌افزار HYFA<sup>1</sup>، تعیین مساحت حوضه بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری، واسنجی ضرایب معادلات تجربی با توجه به مساحت و مقادیر دبی مشاهده‌ای آن‌ها، میانگین‌گیری ضرایب معادلات و نهایتاً تعیین دبی اوج سیل حوضه کوشک‌آباد در دوره‌های بازگشت مختلف از ضرایب به‌دست آمده می‌باشد. روابط (۱) الی (۳) به‌ترتیب معادله‌های تجربی کریگر، دیکن و فانینگ را نشان می‌دهند.

$$Q = 46CA^{(0.894A^{-0.048})} \quad (1)$$

$$Q = cA^{0.75} \quad (2)$$

$$Q = 2.64A^{4/3} \quad (3)$$

که در این رابطه (۱)، Q دبی بیشینه سیل ( $ft^3 s^{-1}$ ) و C ضریب کریگر و A مساحت حوضه ( $mile^2$ )، در رابطه (۲)، Q دبی بیشینه سیل ( $ft^3 s^{-1}$ ) و C ضریب حوضه و A مساحت حوضه ( $Km^2$ ) و در رابطه (۳)، Q دبی بیشینه سیل ( $ft^3 s^{-1}$ ) و A مساحت حوضه ( $Km^2$ ) است.

**تحلیل منطقه‌ای سیلاب:** از بین ۲۱ ایستگاه هیدرومتری فعال موجود در حوضه کشف‌رود (حوضه بزرگی که حوضه کوشک‌آباد در داخل آن قرار دارد)، ۱۷ ایستگاه که دارای شرایط تقریباً مشابه و سال آماری مشترک بودند، در دوره آماری ۷۸-۵۰ (سال دوره آماری مشترک) انتخاب شد. لازم به‌ذکر است که در این روش، خود ایستگاه هیدرومتری

<sup>1</sup> Hydrological Frequency Analysis

کوشک‌آباد به دلیل سال آماری کم، به‌ناچار کنار گذاشته شد. بعد از بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار HYFA، اقدام به تحلیل نقطه‌ای ایستگاه‌ها شد و توزیع‌های آماری برای تک تک ایستگاه‌ها با حداقل مقدار کای‌اسکور مشخص شد.

برای این‌که بتوان به توزیع آماری مناسب در منطقه دست یافت، حداقل مقدار کای‌اسکور از مجموع کای‌اسکورهای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد که بر این اساس، توزیع آماری مناسب منطقه‌ای لوگ نرمال سه متغیره با کمینه کای-اسکور  $49/3$  از مجموع ایستگاه‌های موجود در منطقه تشخیص داده شد. به این ترتیب، پس از مشخص شدن توزیع مناسب منطقه‌ای برای ایستگاه‌ها، دبی متوسط سیل ( $Q_2$ ) و دبی  $10$  ساله ( $Q_{10}$ ) محاسبه شده تا برای آزمون هم‌گنی ایستگاه‌ها از طریق محاسبه عامل یک‌نواختی و دبی یک‌نواخت شده اقدام شود. در محیط EXCEL حد پایین و حد بالای متغیر کوچک شده از پنج تا  $50$  سال آماری برای دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه شده، محدوده هم‌گنی رسم شد. با انتقال تعداد سال آماری موجود در هر ایستگاه و متغیر کوچک شده به‌دست آمده از دوره بازگشت دبی‌های یک-نواخت شده بر روی کاغذ هم‌گنی رسم شده، ایستگاه‌های هم‌گن مشخص شدند.

**مدل HEC-HMS:** در استفاده از مدل HEC-HMS که برای شبیه‌سازی پاسخ رواناب سطحی یک حوزه آبخیز نسبت به بارندگی‌های معین طراحی شده است؛ و حوزه آبخیز را به‌عنوان یک سامانه به‌هم پیوسته با مولفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد (US Army Corps of Engineers, 2002). هر مولفه مدل یک جنبه از فرآیند بارش-رواناب را در داخل بخشی از حوضه که معمولاً به‌عنوان زیرحوضه در نظر گرفته می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند. به‌عبارتی با ترکیب مولفه‌های مختلف، پس از محاسبات لازم، اقدام به ترمیم و محاسبه هیدروگراف کامل می‌کند. به این ترتیب پس از تعیین خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها، اقدام به جمع‌آوری دبی بیشینه لحظه‌ای روی داده‌های سیلابی موجود در ایستگاه هیدرومتری کوشک‌آباد و مقدار بارندگی ساعتی و روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی درون و بیرون حوضه مورد مطالعه شد.

تحلیل توزیع مکانی رگبارها در نرم‌افزار Arc/View با استفاده از روش میان‌یابی عکس مجذور فاصله<sup>1</sup> (IDW) صورت گرفت. آن‌گاه منحنی‌های هم‌رگبار برای رویدادهای سیلابی ایستگاه هیدرومتری کوشک‌آباد رسم شد. توزیع زمانی رگبارها با استفاده از داده‌های ایستگاه ثبات گوش (تنها ایستگاه ثبات درون حوضه)، به‌طریق محاسبه درصد نزول بارش در فواصل زمانی یک‌ساعته تهیه شد. پس از محاسبه توزیع زمانی بارش در هر یک از زیرحوضه‌ها، هایتوگراف‌های متعددی تهیه شد؛ که این هایتوگراف‌ها مبنای محاسبه سیل زیرحوضه‌ها قرار گرفت. آن‌گاه مقدار بارندگی در زمان تمرکز حوضه کوشک‌آباد در دوره‌های بازگشت مختلف به‌روش قهرمان محاسبه شد (قهرمان، 1377). با تلفیق نقشه رستری تهیه شده از گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی مقادیر متوسط CN برای زیرحوضه‌های کوشک‌آباد در شرایط رطوبتی واقعی حوضه در طول سال، از میانگین شرایط خشک I و متوسط II به دست آمد (Akbari, 1998). چرا که در منطقه مورد نظر اواخر خردادماه پایان فصل رشد است و دقیقاً بر اساس تقویم سالی انتهای فصل رشد، ابتدای تیرماه نیست و باید اصلاحاتی در آن صورت گیرد. ضمن این‌که رطوبت خاک در ماه‌های فروردین و اردیبهشت مقدار ثابتی خواهد بود، چون که درجه حرارت و تبخیر مقدار حداقل خود را دارند. بنابراین در این تحقیق، میانگین شرایط رطوبتی خشک و متوسط در نظر گرفته شد. از مقادیر CN به‌دست آمده، مقادیر تلفات اولیه، زمان تاخیر و زمان تمرکز زیرحوضه‌ها نیز به‌عنوان عامل‌های اساسی ورودی مدل HEC-HMS به‌روش SCS محاسبه شد. ضرایب ماسکینگام نیز برای روندیابی سیل در مدل HEC-HMS با بررسی‌های صحرایی تهیه شد. پس از آماده شدن عامل‌های ورودی مدل HEC-HMS، مدل مزبور اجرا شده و واسنجی مدل نیز، با تلفیق روش دستی و خودکار و با فرض انتخاب بهترین عامل بر کم‌بودن درصد خطای نسبی دبی پیک نسبت به تلفات اولیه صورت گرفت. رابطه درصد خطای نسبی دبی پیک جریان به صورت رابطه (4) بیان می‌شود (جوکار، 1381).

<sup>1</sup> Inverse-Distance Gage Weighting

$$PE = \left| \frac{Q_{ob} - Q_{si}}{Q_{ob}} \right| * 100 \quad (4)$$

که در آن،  $PE$  درصد خطا در دبی پیک،  $Q_{ob}$  دبی بیشینه هیدروگراف مشاهده‌ای، و  $Q_{si}$  دبی بیشینه هیدروگراف شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

**مقایسه روش‌های مختلف برآورد دبی بیشینه سیل:** برای مقایسه نتایج برآورد دبی بیشینه سیل حوزه آبخیز کوشک آباد با استفاده از روش‌های مختلف، از معیار درصد خطای پیک جریان استفاده شد (رابطه ۴). لذا مقادیر مشاهده‌ای برای مقایسه با مقادیر محاسبه‌ای از تحلیل نقطه‌ای دبی‌های بیشینه سیلاب ایستگاه کوشک‌آباد استفاده شده، با کاربرد توزیع آماری گامای دو پارامتره در بیشینه درست نمایی<sup>۱</sup>، مقادیر دبی بیشینه سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه مشاهده‌ای کوشک‌آباد نیز به دست آمد.

### نتایج و بحث

**محاسبه دبی بیشینه سیل بر مبنای سطح حوزه آبخیز (روابط تجربی):** پس از واسنجی ضرایب روابط تجربی، دبی بیشینه سیل حوضه مورد مطالعه محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱ - خلاصه برآورد دبی اوج سیل در دوره‌های بازگشت مختلف در روش‌های مختلف

مقادیر مشاهده‌ای ایستگاه کوشک‌آباد	HEC-HMS	منطقه‌ای LN3	فانینگ	کریگر	دیکن	دوره بازگشت
۲۰/۴۰	۲۸/۷۸	۴۰/۴۱	۲۲/۰۱	۲۵/۸۹	۱۹/۰۸	۵
۳۲/۷۵	۴۱/۱۵	۴۹/۹۶	۲۷/۹۱	۳۷/۳۹	۲۶/۲۴	۱۰
۴۶/۰۹	۵۴/۲۶	۷۸/۳۳	۳۷/۶۲	۵۱/۰۷	۳۶	۲۰
۶۴/۹۵	۷۲/۸۹	۱۲۱/۸۳	۵۰/۵۱	۷۳/۱۵	۵۱/۹۳	۵۰
۸۰/۰۲	۸۸/۰۲	۱۶۵	۶۰	۹۳/۶۶	۶۷/۰۱	۱۰۰

**تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب:** برای به دست آوردن احتمال وقوع دبی بیشینه لحظه‌ای سیلاب در دوره‌های بازگشت مورد نظر، مطابق روش گفته شده در روش تحقیق، پس از انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری (جدول ۲)، کنترل هم‌گنی و بازسازی آمار آن‌ها صورت گرفت. به این ترتیب، توزیع مناسب منطقه‌ای و آزمون هم‌گنی انجام گرفته، پس از محاسبه دبی‌های بدون بعد و تعیین رابطه دبی-مساحت ایستگاه‌ها، برآورد دبی بیشینه سیل حوضه مورد مطالعه در دوره‌های بازگشت مورد نظر صورت گرفت (جدول‌های ۳ الی ۷).

**مقایسه روش‌های مختلف برآورد دبی اوج سیل:** جدول ۱ و شکل ۲ نتایج روش‌های مختلف به کار گرفته شده در برآورد دبی بیشینه سیل حوزه آبخیز کوشک‌آباد را با دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهند. جدول‌های ۸ الی ۱۲، درصد خطای نسبی جریان پیک روش‌های مختلف را در دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهند که نتایج آن‌ها دو به دو مقایسه شده است.

دبی‌های ایستگاه مشاهده‌ای کوشک آباد در دوره‌های بازگشت مختلف از تحلیل نقطه‌ای، با استفاده از توزیع آماری گامای دو متغیره به دست آمده است که به دلیل تعداد سال آماری مشترک محدود، فقط برای مقایسه نسبی آورده شده است، چرا که برای مقایسه دقیق‌تر می‌بایستی تعداد آمار ایستگاه مشاهده‌ای برابر سایر ایستگاه‌ها باشد. براساس نتایج به دست آمده از ارزیابی روش‌های مختلف، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب اختلاف بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارد؛ علت آن شاید در انتخاب ایستگاه‌های نامشابه از نظر دارا بودن شرایط اقلیمی و

<sup>1</sup> Maximum likelihood

ادافیکی (به خصوص مساحت) یک نواخت باشد، به این ترتیب، بایستی دقت بیش تری در انتخاب حوضه های دارای ایستگاه هیدرومتری مشابه با حوضه فاقد آمار یا مورد مطالعه، در استفاده از روش های تحلیل فراوانی داشت. سایر روش ها در دوره های بازگشت مختلف، اختلاف کمی را نشان می دهند.

جدول ۲ - محاسبه مقدار دبی یک نواخت شده و متغیر کوچک شده در استفاده از توزیع لوگ نرمال سه متغیره

ایستگاه	توزیع مناسب	دبی متوسط T=2	دبی ده ساله	نسبت دبی ها	دبی یک نواخت	دوره بازگشت	متغیر کوچک	سال های آماری
امامزاده رادکان	LN3-ML	۲۳/۹۹	۷۳/۸۷	۳/۰۷۹	۹۰/۹۸	۱۶/۶۱	۲/۷۷۹	۲۸
گلمکان	LN3-ML	۱/۹۴	۹/۸۳۴	۵/۰۷۷	۷/۳۵	۷/۳۴	۱/۹۲۱	۲۵
بند ساروج	LN3-ML	۳۵/۷	۱۲۹/۰۶۱	۳/۶۱۵	۱۳۵/۳۸	۱۱/۱۵	۲/۳۶۵	۲۸
سر آسیاب	LN3-ML	۱۵/۷۶۵	۵۳/۲۲۸	۳/۳۷۶	۵۹/۷۸	۱۲/۸۶	۲/۵۱۴	۲۸
حصار کشف	LN3-ML	۸/۳۸۸	۲۷/۰۲۸	۳/۲۲۲	۳۱/۸۱	۱۴/۲۸	۲/۶۲۳	۲۶
آق دربند	LN3-ML	۱۱۶/۴۰۵	۵۲۸/۷۲۶	۴/۸۸۶	۴۴۱/۴۳	۷/۳۶	۱/۹۲۴	۲۸
موشنگ	LN3-ML	۳۲/۶۴۹	۶۷/۰۶۵	۲/۰۵۴	۱۲۳/۸۱	۱۰۰/۱	۴/۶۰۱	۲۸
دولت آباد	LN3-ML	۴/۸۶۷	۱۳۳/۸۴	۲/۷۴۹	۱۸/۴۶	۲۰/۷۸	۳/۰۰۹	۲۴
زشک	LN3-ML	۶/۷۳۹	۲۱/۲۴۶	۳/۱۵۳	۲۵/۵۶	۱۴/۳۷	۲/۶۲۹	۲۱
اندرخ	LN3-ML	۲۶/۸۸۱	۱۷۸/۰۰۶	۶/۶۲۲	۱۰۱/۹۴	۵/۵۴	۱/۶۱۴	۲۵
گلستان	LN3-ML	۸/۴۱۵	۳۵/۹۷۱	۴/۲۷۵	۳۱/۹۱	۸/۵۵	۲/۰۸۴	۲۸
اولنگ اسدی	LN3-ML	۶۶/۲۳۱	۲۴۶/۵۷۸	۳/۷۲۳	۲۵۱/۱۶	۱۰/۳۹	۲/۲۹۱	۲۷
پل کشف	LN3-ML	۲۰۴/۱۳۲	۶۴۳/۶۴۳	۳/۱۵۳	۷۷۴/۱۲	۱۵/۴۵	۲/۷۰۴	۲۸
چکنه علیا	LN3-ML	۱۳/۰۱۹	۴۲/۶۰۸	۳/۲۷۳	۴۹/۳۷	۱۳/۷۱	۲/۵۸۰	۱۷
کارده بالادست	LN3-ML	۲۹/۲۳۱	۱۳۵/۲۱۴	۴/۶۲۶	۱۱۰/۸۵	۷/۷۹	۱/۹۸۵	۱۵

جدول ۳ - احتمال دبی های بدون بعد به دست آمده به روش توزیع منطقه ای

دوره هم گنی	دوره بازگشت توزیع آماری	۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۵	LP3-MI	۱/۰۵۵	۲/۵۵۷	۴/۱۴۸	۶/۲۵۲	۷/۰۶	۱۰/۰۴۳	۱۳/۸۷۳
۱۰	LP3-MI	۱/۰۴۲	۲/۳۶۱	۳/۷۰۵	۵/۴۴۴	۶/۱۰۲	۸/۵۰۸	۱۱/۵۵۲
۲۰	LP3-MI	۱/۰۴	۲/۳۰۹	۳/۵۹۳	۵/۲۴۹	۵/۸۷۶	۸/۱۶۴	۱۱/۰۵۷
۵۰	LP3-MI	۱/۰۴	۲/۳۰۹	۳/۵۹۳	۵/۲۴۹	۵/۸۷۶	۸/۱۶۴	۱۱/۰۵۷
۱۰۰	LP3-MI	۱/۰۴	۲/۳۰۹	۳/۵۹۳	۵/۲۴۹	۵/۸۷۶	۸/۱۶۴	۱۱/۰۵۷

جدول ۴ - رابطه مساحت و دبی متوسط در روش توزیع منطقه ای

دوره هم گنی	رابطه مساحت و دبی $Q_2$	ضریب تبیین
۵	$Y = 0.0062X + 15.308$	$R^2 = 0.9485$
۱۰	$Y = 0.0087X + 12.79$	$R^2 = 0.8739$
۲۰ تا ۱۰۰	$Y = 0.0086X + 14.237$	$R^2 = 0.8671$

برآورد دبی بیشینه سیل با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS نیز بیان گر آن است که این روش، نتایج خوبی با مقادیر مشاهده ای دارد که علت آن، به در نظر گرفتن متغیرهای مختلف دخیل ادافیکی و اقلیمی در برآورد دبی برمی گردد. مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS دارای قابلیت خوبی در پیش بینی زمان واقعی سیل است و لذا در این تحقیق از آن استفاده شده است. این مسئله با نتایج شقایبی فلاح (۱۳۸۰)، موسوی (۱۳۸۳)، Lakhtakia و همکاران (۱۹۹۹)، Foody و همکاران (۲۰۰۴) و Hasanzadeh و Aalami (۲۰۰۵) مطابقت دارد. نتایج حاصل از مدل HEC-

HMS، دلالت بر اهمیت واسنجی متغیر تلفات اولیه دارد که منتج از CN بوده، با نتایج خسروشاهی (۱۳۸۰) مبنی بر امکان سنجی مدل SCS با تغییر در مقادیر CN و تلفات اولیه مطابقت دارد.

**جدول ۵- محاسبه دبی بیشینه لحظه‌ای کوشک‌آباد با تحلیل فراوانی- منطقه‌ای سیلاب ( $m^3 s^{-1}$ )**

دوره بازگشت	$Q_2$ کوشک آباد	$Q_p$ کوشک آباد (توزیع منطقه‌ای)
۵	۱۵/۸	۴۰/۴۱
۱۰	۱۳/۴۸	۴۹/۹۶
۲۰	۱۴/۹۲	۷۸/۳۳
۵۰	۱۴/۹۲	۱۲۱/۸۳
۱۰۰	۱۴/۹۲	۱۶۵

**جدول ۶- دبی بیشینه لحظه‌ای هم‌راه با تاریخ وقوع آن‌ها در ایستگاه هیدرومتری کوشک‌آباد ( $m^3 s^{-1}$ )**

تاریخ وقوع سیل	۷۰/۰۲/۲۴	۷۰/۰۲/۲۸	۷۱/۰۲/۰۸	۷۱/۰۲/۲۳	۷۱/۰۳/۲۲	۷۲/۰۳/۱۱
دبی اوج سیل	۱/۴۶	۴/۳	۱/۹۶	۳/۲۸	۱۲/۲۳	۸/۳۲

**جدول ۷- مقادیر شماره منحنی، تلفات اولیه، زمان تاخیر و زمان تمرکز زیرحوضه‌ها برای کلیه وقایع سیلابی**

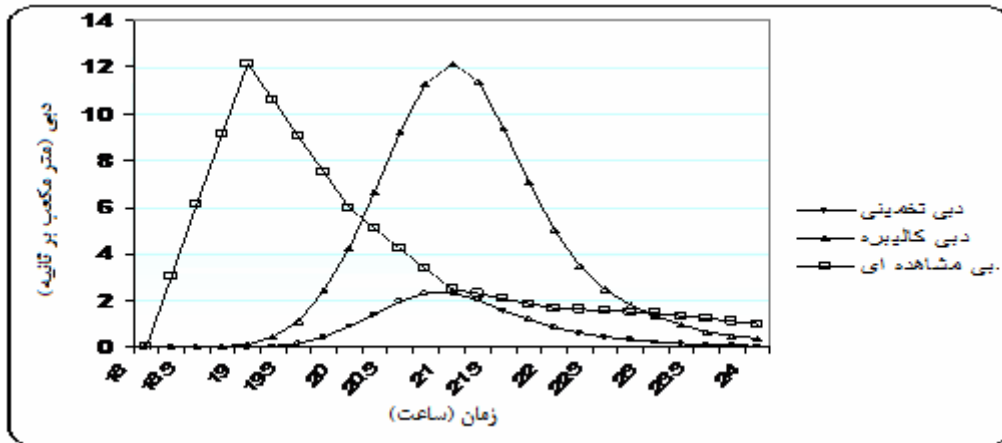
زیرحوزه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
$(CN_I + CN_{II})/2$	۷۹	۷۹	۷۸	۷۸	۸۱	۸۱	۷۷	۷۱	۷۴	۷۰
تلفات اولیه (میلی‌متر)	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۴/۳	۱۴/۳	۱۱/۹	۱۱/۹	۱۵/۲	۲۰/۷	۱۷/۸	۲۱/۸
زمان تاخیر T1 (ساعت)	۰/۹۸۹	۱/۱۰۹	۱/۱	۰/۹۶	۰/۸۶	۱/۳۹	۱/۴۴	۰/۸۳	۱/۲۳	۰/۹۳
زمان تمرکز Tc (ساعت)	۱/۶۵	۱/۸۵	۱/۸۳	۱/۶	۱/۴۳	۲/۳۲	۲/۴	۱/۳۸	۲/۰۶	۱/۵۵

**جدول ۸- درصد خطای نسبی دبی پیک روش‌های مختلف در دوره بازگشت پنج سال**

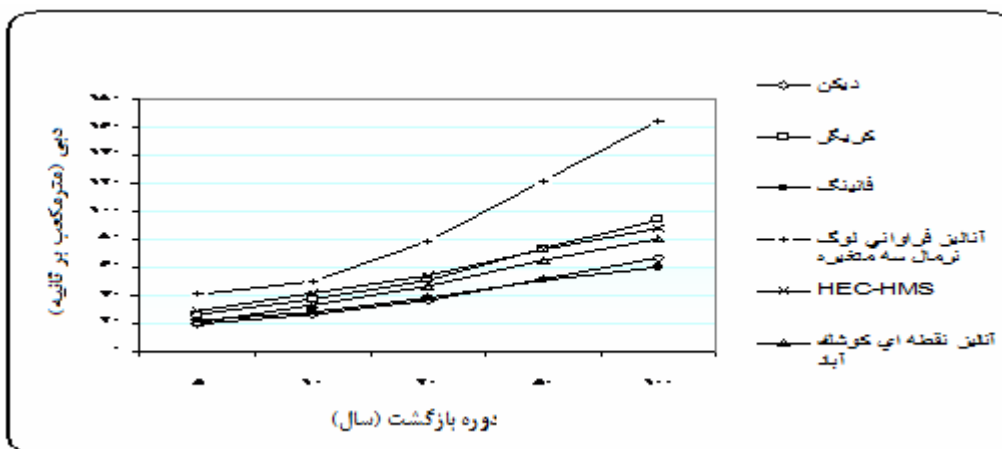
پنج ساله	دیکن	کریگر	فانینگ	منطقه‌ای-LN3	HEC-HMS
مشاهده‌ای	۶/۴۵*	۲۶/۹۲*	۷/۹۲*	۹۸/۰۹	۴۱/۰۸
دیکن		۳۵/۶۶*	۱۵/۳۵*	۱۱۱/۷۴	۳۲۱/۴۱
کریگر			۱۴/۹۷*	۵۶/۰۸	۱۱/۱۶*
فانینگ				۸۳/۵۶	۳۰/۷۳*
منطقه‌ای-LN3					۲۸/۷۸*

LN3: لوگ نرمال سه متغیره، \*: اختلاف معنی‌دار ندارد.

پیشنهاد می‌شود تا نتایج برآوردی دبی بیشینه سیل با سایر مدل‌های هیدرولوژیکی بارش-رواناب نیز در سایر نقاط کسور آزمون شود. همچنین پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب، چون روش‌های رگرسیونی صورت گرفته، در انتخاب ایستگاه‌های هم‌گن، تشابه هم‌گنی عامل‌هایی چون وضعیت پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و تا حدودی مساحت نزدیک به هم نیز لحاظ شود. در استفاده از معادله‌های تجربی که بر مبنای سطح حوزه آبخیز نیز نیستند، آزمون به عمل آمده، با سایر روش‌ها در برآورد دبی بیشینه سیل مقایسه شود.



شکل ۱- هیدروگراف مشاهده‌ای- محاسباتی مدل در قبل و بعد از واسنجی برای رویداد ۷۱/۰۳/۲۲



شکل ۲- مقایسه برآورد دبی بیشینه سیل به روش‌های مختلف

جدول ۹- درصد خطای نسبی دبی پیک روش‌های مختلف در دوره بازگشت ۱۰ سال

HEC-HMS	منطقه‌ای-LN3	فانینگ	کریگر	دیکن	۱۰ ساله مشاهده‌ای
۱۶/۸۷*	۱۰۷/۶۷	۱۴/۷۹*	۱۴/۱۶*	۱۹/۸۸*	
۵۶/۸۲	۹۰/۳۸	۶/۳۵*	۴۲/۴۹		دیکن
۹/۳۸*	۳۳/۶۱*	۲۵/۳۶*			کریگر
۴۷/۴۶	۷۹/۰۱				فانینگ
۱۷/۶۳*					منطقه‌ای-LN3

LN3: لوگ نرمال سه متغیره، \*: اختلاف معنی‌دار ندارد.

جدول ۱۰- درصد خطای نسبی دبی پیک روش‌های مختلف در دوره بازگشت ۲۰ سال

HEC-HMS	منطقه‌ای-LN3	فانینگ	کریگر	دیکن	۲۰ ساله مشاهده‌ای
۱۷/۷۲*	۶۹/۹۵	۱۸/۳۷*	۱۰/۸۱*	۲۱/۸۹*	
۵۰/۷۲	۱۱۷/۵۹	۴/۵۱*	۴۱/۸۷		دیکن
۶/۲۴*	۵۳/۳۷	۲۶/۳۳*			کریگر
۴۴/۲۲	۱۰۸/۲۰				فانینگ
۳۰/۷۳*					منطقه‌ای-LN3

LN3: لوگ نرمال سه متغیره، \*: اختلاف معنی‌دار ندارد.



جدول ۱۱ - درصد خطای نسبی دبی پیک روش‌های مختلف در دوره بازگشت ۵۰ سال

HEC-HMS	منطقه‌ای-LN3	فانینگ	کریگر	دیکن	۵۰ ساله
۱۲/۲۳*	۸۵/۵۸	۲۲/۲۳*	۱۲/۶۳*	۲۰/۰۴*	مشاهده‌ای
۴۰/۳۷	۱۳۴/۶۰	۲/۷۴*	۴۰/۸۶		دیکن
۰/۳۵*	۶۶/۵۵	۳۰/۹۵*			کریگر
۴۴/۳۲	۱۴۱/۲۰				فانینگ
۱۷/۴۰*					منطقه‌ای-LN3

LN3: لوگ نرمال سه متغیره،\*: اختلاف معنی‌دار ندارد

جدول ۱۲ - درصد خطای نسبی دبی پیک روش‌های مختلف در دوره بازگشت ۱۰۰ سال

HEC-HMS	منطقه‌ای-LN3	فانینگ	کریگر	دیکن	۱۰۰ ساله
۱۰*	۱۰۶/۲۰	۲۵/۰۲*	۱۷/۰۶*	۱۶/۲۵*	مشاهده‌ای
۳۰/۳۵*	۱۴۶/۲۳	۱۰/۴۶*	۳۹/۷۷*		دیکن
۶/۰۳*	۱۷/۱۶*	۳۵/۹۴*			کریگر
۴۶/۷۰	۱۷۵				فانینگ
۴۶/۶۵					منطقه‌ای-LN3

LN3: لوگ نرمال سه متغیره،\*: اختلاف معنی‌دار ندارد.

### منابع مورد استفاده

۱. پایروند، و.، ع. سلاجقه، م. مهدوی و م.ع. زارع‌چاهوکی. ۱۳۸۹. بررسی و مقایسه روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب در منطقه البرز مرکزی. مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۳، شماره ۲، صفحه ۱۴۷-۱۳۱.
۲. جوکار، ج. ۱۳۸۱. بررسی سیل‌خیزی زیرحوزه‌های رودخانه شاپور با استفاده از شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۶ صفحه.
۳. جعفرزاده، س. ۱۳۷۸. روش‌های مختلف برآورد دبی حداکثر سیلاب بر مبنای سطح حوزه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۹ صفحه.
۴. جمالی، ع.ا. ۱۳۸۰. بررسی حساسیت تعدادی از روش‌های تجربی هیدرولوژیکی برآورد دبی اوج سیلاب نسبت به سطح حوزه در برخی از حوزه‌های آبخیز ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۲ صفحه.
۵. خسروشاهی، م. ۱۳۸۰. تعیین نقش زیرحوزه‌های آبخیز در شدت سیل‌خیزی حوزه، مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند، پایان‌نامه دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۷۷ صفحه.
۶. خانی، ج. ۱۳۸۲. تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیلاب و بررسی روابط تجربی به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین روش در برآورد جریان برای حوزه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری. گزارش نهایی طرح‌های تحقیقاتی وزارت جهاد کشاورزی، ۸۸ صفحه.
۷. شقایب‌فلاح، ر. ۱۳۸۰. شبیه‌سازی دبی حداکثر سیلابی در شاخه‌های فرعی رودخانه حوزه آبخیز محمد آباد (استان گلستان) با استفاده از مدل HEC-HMS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۷۵ صفحه.
۸. غنی‌پور توپراق قلعه، ر. ۱۳۷۹. تعیین نواحی هم‌گون و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل جهت طرح‌های آبی (مطالعه موردی در آذربایجان غربی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشگاه تبریز، ۱۰۵ صفحه.
۹. قاسم‌پور، ف. ۱۳۷۴. تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب در غرب مازندران، چالوس-رامسر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۶ صفحه.
۱۰. قهرمان، ب. ۱۳۷۷. استخراج دسته منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی. مجله استقلال، ۲۰: ۴۲-۵۰.
۱۱. موسوی، س.ا. ۱۳۸۳. پهنه‌بندی قابلیت سیل‌خیزی حوزه آبخیز چهل‌گزی استان کردستان با استفاده از GIS و مدل HEC-HMS. کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک ۲۰-۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۳ کرمان، ۱۶۸ صفحه.
۱۲. نجیب، ح.ر. ۱۳۷۲. بررسی ضریب منطقه‌ای سیل‌خیزی در ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، ۱۶۹ صفحه.
13. Akbari, A. 1998. Coupled time-area overland flow modeling and HEC-1 channel routing for Kooshk-abad watershed of Iran. MSc Thesis, ITC, 72p.
14. Creager, W.P and J.D Jusin. 1955. Hydroelectric handbook. 2d ed., John Wiley, New York.
15. Foody, G.M., E.M. Ghoneim and W.N. Arnell. 2004. Predicting location sensitive to flash flooding in arid environment. Journal of Hydrology, 292:48-58.

16. Hassanzadeh, Y. and M.T. Aalami. 2005. An investigation of reasons for the occurrence of Golestan flood and the methods of its prevention. Proceedings of the International Conference on Geohazards, Natural Disasters and Methods of Confronting With them, Tabriz, Iran, Sep.27-29, 2005:39-40.
17. Karl, A. and A. Lohani. 2010. Development of flood forecasting system using statistical and ANN techniques in the downstream catchment of Mahanadi Basin, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 2 (10):880-887.
17. Lakhtakia, M.N., B. Yarnal, R.A. White, D.A Miller, B. Frakes, E.G. Barron, C. Duffy and F.W. Schwartz. 1999. Simulating the river-basin response to atmospheric forcing by linking a mesoscale meteorological model and hydrologic model system. *Journal of Hydrology*, 218:72-91.
18. Liang, S., W.E. Lim, T. Kojiri, T. Hori, S.Y. Liang, W.H. Lim, M. Anderson, N. Peters and D. Walling. 2000. Advance flood forecasting for flood stricken in Bangladesh with a fuzzy reasoning method. *Hydrological processes*, 14(3):431-448.
19. Ouarda, T.B., J.M. Cunderlik, A. St-Hilaire, M. Barbet, P. Bruneau and B. Bobée. 2006. Data-based comparison of seasonality-based regional flood frequency methods. *Journal of Hydrology*, 330(1-2):329-339.
20. Suwanwerakamtorn, R. 1994. GIS and hydrologic modeling for the management of small watershed. *ITC Journal*, Enschede, The Netherlands, 4:343-348.
21. US Army Corps of Engineers. 2002. Hydrologic modeling system HEC-HMS, Version 2.2.0, August 2002. pp.12.

## Comparison of different methods of peak flood discharge estimation in Khorasan Razavi province

**Hossein Isanloo**<sup>1</sup>, Former MSc Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran  
**Mehdi Vafakhah**, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 08 April 2011

Accepted: 04 October 2011

### Abstract

Flood estimation with certain frequency is one of the fundamental factors for designing hydraulic structures, floodplain planning, river coastal stabling, and watershed management. The Kushkabad watershed is one of the main sub-basins of Kashafroud basin located in the north-east of Iran, with an area of 87.45 km<sup>2</sup>, and 11 kilometers far from Mashhad, which has always been facing severe damages due to flash floods in special climates and topography. In this research, HEC-HMS, flood frequency analysis, Creager, Dicken and Fanning rainfall-runoff hydrological empirical methods were compared. The statistical index of relative percent error was used for comparison of different methods. The results showed that HEC-HMS model has little difference with observed data, and empirical methods have a reliable approach with HEC-HMS model. On the other hand, regional flood frequency analysis has more significant difference with reality.

**Key words:** Creager, Dicken, Fanning, HEC-HMS, Regional flood frequency analysis

---

<sup>1</sup> Corresponding author: hghizanloo@yahoo.com