نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۳۹۷، ص. ۱۱۰۷-۱۰۹۷

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 6, Jan.-Feb. 2019, p. 1097-1107

برآورد سیلاب طرح حوضه آبخیز با به‌کارگیری تئوری فرکتال و مدل بارش- رواناب HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد)

حمیدرضا باباعلی[۱]- زهره رامک[۲*]- رضا سپهوند[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۳۰

چکیده

برآورد سیلاب طرح حوضه آبخیز جهت طراحی سازه‌های هیدرولیکی، تثبیت سواحل رودخانه، پروژه‌های آبخیزداری و پهنه‌بندی سیل یکی از مهم‌ترین مسائل هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به‌شمار می‌آید. منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی (IDF) بارش یکی از ابزارهای هیدرولوژیکی جهت محاسبه سیلاب طرح و طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌باشند. حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد یکی از زیرحوضه‌های حوضه کرخه همواره در معرض وقوع سیلاب‌های مخرب و خسارت‌های ناشی از آن بوده است. در این تحقیق، ابتدا منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی حوضه آبخیز به کمک تئوری فرکتال برآورد گردید و پس از آن، بارش طرح حوضه در دوره‌های بازگشت مختلف به‌دست آمد. در مرحله بعد مدل بارش- رواناب HEC-HMS برای حوضه مورد نظر واسنجی و در نهایت سیلاب طرح حوضه در دوره‌های بازگشت مختلف تخمین زده شد. نتایج تحقیق، کارآیی بالای مدل فرکتال و نیز مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را در این حوضه نشان داد. همچنین نتیجه تحقیق توزیع احتمالاتی گامبل را با آزمون کای‌اسکور، اندرسون دارلینگ و نیز کولموگروف-اسمیرنوف با سطح معنا داری ۵ درصد برای داده‌های حداکثر بارش سالانه با تداوم روزانه این حوضه مناسب دانست.

واژه‌های کلیدی: بارش طرح، منحنی‌های IDF، مدل هیدرولوژیکی، کمبود داده

مقدمه

پیش‌بینی دبی رودخانه‌ها و تخمین صحیح رواناب، به منظور استفاده بهینه ازمخازن سدها، ساماندهی رودخانه و هشدار سیل از اهمیت زیادی برخوردار است و نیاز مهم در این برنامه می‌باشد، زیرا تخمین اضافی رواناب هزینه‌های غیرضروری و زیادی را به طرح تحمیل می‌کند و تخمین کم رواناب باعث تخریب ناگهانی سازه‌های کنترل موجود در حوضه و وارد آمدن تلفات جانی و مالی فراوان می‌گردد (۸ و ۱۸). در یک حوضه، بعنوان یک هیدروسیستم، خطر سیل همواره حین بارش و پس از آن محتمل است. بنابراین استخراج روابط بین بارش در سطح حوضه و جریان ناشی از آن که به صورت رواناب و سیلاب آشکارمی‌گردد، از دیرباز جزو مهم‌ترین مسائلی بوده که مورد توجه کارشناسان مرتبط با مسائل آب بویژه هیدرولوژیست‌ها بوده است (۶). مطالعات مختلف دلالت بر این موضوع دارد که عدم توجه به حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها باعث ایجاد یک رشد نمایی در فراوانی وقوع سیلاب و میزان خسارات وارده خواهد گردید و در این میان مناطق شهری و نیمه شهری بیشترین پتانسیل خطرپذیری از سیل را دارا می‌باشند. با توجه به اینکه حفاظت کامل از خطر سیلاب امکان‌پذیر نمی‌باشد، زیستن در کنار سیلاب و اعمال سیاست‌های جدید در خصوص مدیریت کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی حریم رودخانه به منظور کاهش اثرات تخریب آن امری ضروری است (۱). علی‌رغم تمامی پیشرفت‌های علمی صورت گرفته در زمینه پیش‌بینی و مقابله با پدیده سیلاب، این مسئله همچنان گریبان‌گیر تمامی کشورهای دنیا، اعم از فقیر یا ثروتمند می‌باشد. در کشور ما ایران نیز همواره سیل به عنوان یکی از حوادث غیر مترقبه طبیعی، مخرب و ویرانگر بوده و هنوز هم می‌باشد. در راستای کنترل این موضوع و موضوعات مرتبط، مرحله برآورد رواناب حاصل از بارش مهمترین نقش را دارا می باشد(۳). کمیت سیلی که برای طراحی سازه‌های تحت تاثیر وقایع هیدرولوژیکی باتوجه به عواملی چون ایمنی سازه، هزینه، طول عمر و خسارت محتمل به‌کار می‌رود، سیل طراحی نام دارد. منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی (IDF) بارش یکی از ابزارهای هیدرولوژیکی جهت محاسبه سیل طرح و طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی جهت محاسبه سیلاب طرح و

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران
۲- دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: z_ramak@yahoo.com
۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، منابع آب، دانش‌آموخته دانشگاه صنعتی اصفهان
DOI: 10.22067/jsw.v32i6.71723

طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد. این منحنی‌ها برای یک منطقه از روی داده‌های بارش، که در تداوم مختلف ثبت شده است، ساخته می‌شود. معمولا" در کشورهای درحال پیشرفت مانند ایران که از وسعت زیادی برخوردار است، در منطقه مورد مطالعه ایستگاه باران‌سنج وجود ندارد و یا طول دوره آماری آن کم می‌باشد که امکان محاسبه منحنی‌های IDF را غیرممکن می‌سازد. علاوه بر طولانی بودن روند استخراج منحنی‌های IDF به روش متداول و بالا بودن عدم قطعیت آن‌ها به جهت زیاد بودن پارامترهای آن، یکی دیگر از موانع استخراج این منحنی‌ها، عدم وجود داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد. در کشور پهناور ما در بسیاری از مواقع در منطقه مورد نیاز، یا ایستگاه باران‌سنجی وجود ندارد و یا طول دوره آماری آن بسیار کوتاه است که استخراج منحنی‌های IDF را با مشکل مواجه می‌کند. اما از آنجاییکه معمولاً امکان دسترسی به داده‌های روزانه بارش وجود دارد می‌توان با استفاده از تئوری فرکتال، داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف را با دقت بسیار خوبی برآورد و منحنی IDF را ساخت (۱۷).

مولنار و برلاندو (۱۲) قابلیت بکارگیری مدل فرکتال جهت ساخت منحنی‌های IDF در مناطق کوهستانی را تایید کردند. ناهات و همکاران (۱۶) با استفاده از مدل فرکتال، روابطی جهت استخراج منحنی‌های IDF در ایستگاه‌های فاقد آمار برای کشور ژاپن ارائه کردند. بارا (۲ و۳) خصوصیات فرکتالی مقادیر حدی بارش را بررسی و وجود خاصیت عدم تغییرپذیری در داده‌های حدی را تایید کرد. همچنین در این زمینه می‌توان به مطالعات دیدا و همکاران (۷) و چنگ و همکاران (۵) اشاره نمود. در زمینه تبدیل بارش به رواناب نصری و همکاران (۱۵) در حوضهٔ آبخیز سد شیخ بهایی شهرستان کاشان به منظور اولویت‌بندی مناطق موثر بر دبی اوج سیلاب از مدل HEC-HMSاستفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد مناطق نزدیک به نقطهٔ خروجی حوضه، بیشترین نقش را در تولید سیل دارند و باید در اولویت فعالیت‌های آبخیزداری قرارگیرند. مالامود و ترکات (۱۲) دریافتند که بین بزرگی سیلاب و دوره بازگشت آن رابطه توانی برقرار است. آنها همچنین دریافتند از بین توزیع‌های احتمالاتی متداول، توزیع‌های پارتوی تعمیم یافته[1] و مقادیر حدی تعمیم یافته نتایج نسبتاً قابل قبولی داشتند که این به رابطه توانی (که در سیلاب های بزرگ در دنباله انتهایی آنها وجود دارد بر می‌گردد.

کمالی و همکاران (۱۱) از مدل HEC- HMS برای اولویت‌بندی مناطق مولد سیل در حوضهٔ آبخیز باراجین شهر قزوین استفاده کردند و نشان دادند که نوع کاربری اراضی، نوع واحدهای هیدرولوژیکی خاک و بالابودن میانگین وزنی CN حاکی از خطر بالای تولید سیل در حوضه است. همچنین، بیان کردند زیرحوضه‌های شیبدارتر در این منطقه با داشتن کاربری اراضی نامناسب اولویت اول را در کنترل سیل دارند. تیزرو و همکاران (۱۹) برای تخمین رواناب منطقه پلرود استان گیلان از تلفیق مدل‌های HEC-HMS و GLDAS استفاده کردند. در این تحقیق از دو روش SMA و SCS برای محاسبه تلفات استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد مدل تلفیقی از طریق هردو روش SMS و SCS قابل قبول بوده و این مدل در تخمین سیلاب‌های لحظه‌ای و مقادیر اوج آن‌ها، بهتر از جریان‌های غیرسیلابی عمل می‌کند. اگرچه در هر دو مورد، مدل نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند.

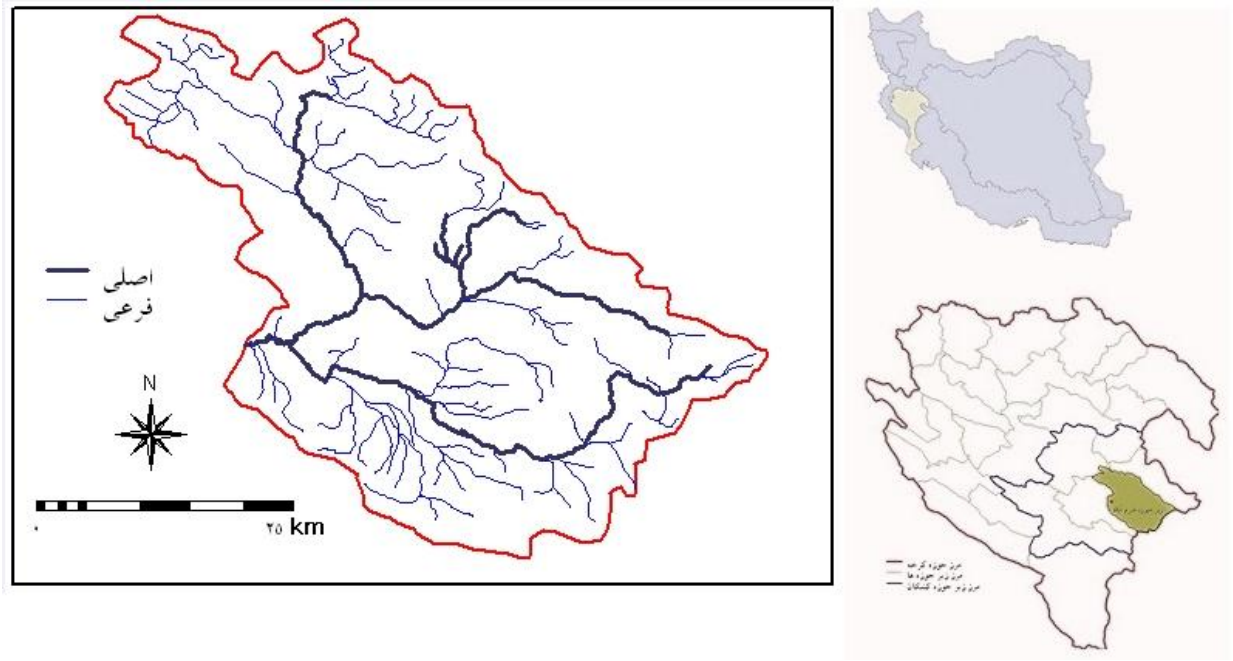
حوضه آبریز رودخانه خرم‌آباد یکی از زیرحوضه‌های مهم و استراتژیک حوضه آبریز کرخه در استان لرستان است. در داخل این حوضه، شهر خرم‌آباد، بعنوان حوضه آبریز شهری اهمیت دارد. رودخانه اصلی این حوضه بعنوان منبع ارزشمند اقتصادی و تامین‌کننده آب مصرفی برای شهر خرم‌آباد می‌باشد. با وجود منافع زیاد این رودخانه، همه ساله در این رودخانه طغیان صورت می‌گیرد که درمواردی خسارات جانی و مالی برای این حوضه به همراه دارد. از آنجاییکه یکی از مشکلات موجود در این منطقه نبود آمار داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد، لذا برآورد بارش طراحی حوضه آبریز با استفاده از منحنی‌های IDF غیر عملی می‌باشد. به همین منظور با توجه به عدم وجود مطالعات کافی جهت رفع این مشکل در این حوضه، در تحقیق حاضر تلاش گردیده با بکاربردن تئوری فرکتال این مشکل مرتفع گردد. لذا مطالعه حاضر می‌تواند بعنوان یک ابزار موثر در جهت برنامه‌ریزی برای مدیریت صحیح و بهینه منابع آبی در راستای کاهش خسارات وارده از سیلاب‌های منطقه در این حوضه مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق ابتدا به منظور برآورد بارش طرح، با استفاده از تئوری فرکتال، منحنی‌های IDF تهیه گردید. سپس به منظور برآورد سیلاب طرح، از مدل بارش- رواناب HEC-HMS استفاده شد و پس از واسنجی این مدل، از آن جهت برآورد سیلاب طرح در دوره‌های بازگشت مختلف استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه خرم‌آباد با مساحت ۱۶۴۰ کیلومترمربع در استان لرستان واقع در جنوب غربی ایران می‌باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی بین ″۳۷ ′۰۴ °۴۸ تا ″۳۷ ′۴۶ °۴۸ طول شرقی و ″۱۶ ′۱۵ °۳۳ تا ″۵۲ ′۴۳ °۳۳ عرض شمالی واقع شده است. این حوضه حدود ۱۶ درصد وسعت حوضه کشکان را دربرگرفته و دارای شیب متوسط ۲۴/۳۶ درصد است که نسبت به شیب متوسط کشکان کمتر است. حداکثر ارتفاع حوضه مورد مطالعه ۲۸۷۶ متر و حداقل ارتفاع حوضه ۱۱۱۲ متر است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد (۱۰).

1- Generalized Pareto Distribution



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه

Figure 1- Geographical position of studied watershed

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده

Table 1- Specifications of used meteorological and hydrometric stations

نام ایستگاه (The name of station)	طول جغرافیایی (Longitude)	عرض جغرافیایی (Latitude)	نوع ایستگاه (Type of station)	ارتفاع (Altitude)
چم‌انجیر (Chamanjir)	48 14	33 26	هیدرومتری (Hydrometric)	1140
چم‌انجیر (Chamanjir)	48 13	33 25	بارانسنجی (Rain gage)	1166

داده‌های مورد نیاز برای انجام این تحقیق شامل داده‌های بارانسنجی، هیدرومتری، داده‌های مربوط به فیزیوگرافی حوضه و نیز داده‌های مربوط به مقدار CN یا شماره منحنی می‌باشد. ایستگاه بارانسنجی و ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده در این تحقیق ایستگاه چم انجیر بوده است. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها کامل بودن داده‌ها می‌باشد. جدول زیر مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری مورد استفاده را نشان می‌دهد.

استخراج منحنی‌های IDF به روش فرکتال

متغیر تصادفی I_d که نشان دهنده ماکزیمم شدت سالانه بارش با دوام d است، بصورت زیر تعریف می‌شود (۴) :

$$I_d = max_{over\ one\ year}\left[\frac{1}{d}\int_{1-\frac{d}{2}}^{1+\frac{d}{2}} x(\varepsilon)d\varepsilon\right] \quad (۱)$$

در رابطه فوق $x(\varepsilon)$ تابع پیوسته شدت بارش و d دوام بارش می‌باشد. متغیر تصادفی I_d بعنوان ماکزیمم مقدار متوسط $x(\varepsilon)$ در عرض d تعریف می‌شود که همان حداکثر شدت سالانه بارش در تداوم d می‌باشد. برنالدو و روسو(۴) و یو و همکاران(۲۱)، بر اساس آنالیز اشکال خودمتشابه (فرکتال‌ها) دریافتند متغیرهای تصادفی I_d و I_D که به ترتیب حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های مختلف d و D می‌باشد، دارای خصوصیات مقیاسی زیر می‌باشند:

$$I_d = \left(\frac{d}{D}\right)^n I_D \quad (۲)$$

در رابطه فوق n توان مقیاس می‌باشد. رابطه فوق نشان می‌دهد که توزیع فراوانی بارش در تداوم‌های مختلف دارای توزیع فراوانی یکسانی می‌باشد. بر اساس خصوصیات مونوفرکتالی یا عدم تغییرپذیری مقیاس داده‌ها اگر از طرفین رابطه فوق گشتاور مرتبه q گرفته شود، خواهیم داشت (۲۱):

$$E(I_d^q) = \left(\frac{d}{D}\right)^{K(q)} E(I_D^q) = \frac{E(I_D^q)}{D^{K(q)}} d^{K(q)} \quad (۳)$$

درحالت عدم تغییرپذیری مقیاس یا مونوفرکتالی توان مقیاس K(q) برای گشتاور مرتبه q برابر $q \times n$ می‌باشد یعنی K(q) تابعی خطی از q می‌باشد. اگر از رابطه فوق لگاریتم گرفته شود، مشخص می‌گردد که K(q)، شیب خط رگرسیونی $\log E(I_d^q)$ در برابر لگاریتم دوام بارش ($\log d$) است. منابل و همکاران (۱۴)، با بررسی تئوری اشکال خودمتشابه (یا خودتکرار) در حالت عدم تغییرپذیری مقیاس از روابط فوق، رابطه میانگین و واریانس بارش را در دو تداوم مختلف بصورت زیر ارائه کردند:

$$E(I_d) = \frac{E(I_D)}{D^n} d^n \quad (۴)$$

$$E(I_d^2) = \frac{E(I_D^2)}{D^{2n}} d^{2n} \quad (۵)$$

$$Var(I_d) = E(I_q^2) - E^2(I_d) \Rightarrow Var(I_d) = \frac{Var(I_D)}{D^{2n}} d^{2n} \quad (۶)$$

در روابط فوق، $E(I_d)$ و $Var(I_d)$ به ترتیب مقدار میانگین و واریانس شدت بارش با دوام d می‌باشد.

اگر داده‌های شدت بارش دارای توزیع فراوانی تجمعی F باشد، آنگاه شدت بارش با دوام d و دوره بازگشت T، $I_{d,T}$ بر اساس رابطه چو، بصورت زیر قابل تعریف است :

$$I_{d,T} = E(I_d) + K_T\sqrt{Var}(I_d) \quad (۷)$$

در رابطه فوق K_T عامل فراوانی می‌باشد که تابع دوره بازگشت (T) و نوع توزیع احتمالاتی می‌باشد. با جایگزینی روابط ۴ و ۶ در رابطه ۷ خواهیم داشت:

$$I_{d,T} = \frac{E(I_D)}{D^n} d^n + \sqrt{\frac{Var(I_D)}{D^{2n}} d^{2n}} \Rightarrow I_{d,T} = \frac{E(I_D)}{D^n}(1 + C_V K_T) d^n \quad (۸)$$

$$I_{d,T} = \frac{E(I_D)}{D^n} d^n + \sqrt{\frac{Var(I_D)}{D^{2n}} d^{2n}} \Rightarrow I_{d,T} = \frac{E(I_D)}{D^n}(1 + C_V K_T) d^n$$

در رابطه فوق C_V ضریب تغییرات بارش حداکثر سالانه در تداوم D است. از آنجا که معمولاً داده‌های بارش روزانه با دقت خوبی ثبت می‌گردد و به راحتی قابل دسترس می‌باشد بهتر است D برابر ۲۴ فرض شود آنگاه رابطه بالا بصورت زیر ساده می‌شود :

$$I_{d,T} = \frac{E(I_{24})}{24^n}(1 + C_V K_T) d^n \quad (۹)$$

در رابطه فوق، C_V ضریب تغییرات بارش حداکثر سالانه با تداوم ۲۴ ساعته، d تداوم بارش بر حسب ساعت (hr)، $I_{d,T}$ شدت بارش در تداوم d و دوره بازگشت T (برحسب mm/hr)، $E(I_{24})$ میانگین شدت حداکثر بارش روزانه (برحسب mm/hr) می‌باشد. بنابراین می‌توان با استفاده از رابطه فوق، که نتیجه تئوری عدم تغییرپذیری مقیاس زمانی بارش است، از روی داده‌های روزانه بارش، منحنی های IDF را ساخت. اگر داده‌ها از توزیع گامبل تبعیت کنند در این صورت با جایگزینی K_T مربوط به توزیع گامبل (EN1) در رابطه بالا، رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

$$I_{d,T} = \frac{E(I_{24})}{24^n}\left[1 - C_v(I_D)\frac{\sqrt{6}}{\pi}(0.5772 + Ln(Ln\frac{T}{T-1})\right] \quad (۱۰)$$

مشابه رابطه فوق را می‌توان برای دیگر توزیع‌های احتمالاتی نیز استخراج کرد.

قبل از بکارگیری روش فرکتال برای استخراج منحنی‌های IDF باید از وجود رفتار فرکتالی در داده‌های بارش اطمینان حاصل کرد. برای این منظور از روش گشتاور مقیاسی استفاده می‌شود که در این روش، گشتاور آماری مرتبه q برای تداوم مختلف $(E(I_d^q))$ محاسبه می‌گردد. سپس گشتاور آماری $(E(I_d^q))$ در مقابل تداوم بارش d برای هر مرتبه گشتاور q ترسیم می‌شود. از آنجا که در مطالعه رفتار فرکتالی داده‌ها، هدف بررسی وجود رابطه توانی می‌باشد، در این تحقیق تداوم‌های مورد بررسی نیز یک سری توانی یعنی (day) d=1,2,4,8می‌باشد. همچنین مرتبه گشتاورهای آماری (q) نیز بین ۱ تا ۸ درنظر گرفته شده است (۱۷).

مدل بارش- رواناب HEC-HMS

مدل HEC-HMS نسخه توسعه یافته و تحت ویندوز مدل HEC-1 با کلیه قابلیت‌های موجود در آن است. هیدروگراف‌های محاسبه شده توسط این مدل به طور مستقیم یا در تلفیق با نرم افزارهای دیگر برای اهداف مختلف مطالعات نظیر آب‌رسانی، زهکشی شهری، پیش‌بینی سیل و دبی جریان، تاثیر تغییر کاربری اراضی، طراحی سرریز سدها، مطالعات کنترل سیلاب و بهره‌برداری از سیستم مخازن به‌کار می‌رود. در واقع این مدل سیستم یا مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی تلفات، تبدیل بارش - رواناب در زیرحوضه‌ها و روندیابی جریان در رودخانه و مخازن و نیز سازه‌های آبی است. این بسته نرم افزاری مشتمل بر یک برنامه اصلی و پنج زیربرنامه (Subroutine) می باشد. دو زیربرنامه وظیفه بهینه‌سازی هیدروگراف واحد، مقدار تلفات آب یا پارامترهای روندیابی جریان سطحی را در مرحله واسنجی اتوماتیک به عهده دارند. سایر زیربرنامه‌ها محاسبه هیدروگراف واحد، روندیابی و ترکیب هیدروگراف‌ها را انجام می‌دهند.

در مدل حوضه پس از معرفی المان های هیدرولوژیکی، در هر زیرحوضه سه بخش تلفات، رواناب مستقیم و آب پایه تعیین می‌گردد. در این تحقیق جهت محاسبه میزان تلفات و جریان پایه رودخانه از روش شماره منحنی و روش فروکش جریان و جهت برآورد رواناب نیز از سه روش هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، اشنایدر و کلارک استفاده شده است و پس از مقایسه نتایج سه روش در مرحله واسنجی مدل با استفاده از داده‌های بارانسنجی، هیدرومتری، داده‌های مربوط به فیزیوگرافی حوضه و CN یا شماره منحنی ، روش هیدروگراف واحد کلارک بعنوان بهترین روش برآورد رواناب حوضه تشخیص داده شد و از این روش در مرحله ارزیابی مدل استفاده گردید. همچنین جهت روندیابی سیلاب از روش ماسکینگهام استفاده شده است. بکارگیری مدل کلارک نیازمند خواص هیستوگرام زمان – مساحت و ضریب ذخیره (R) است. معادله بین زمان- مساحت که در HEC-HMS درج شده است، به صورت زیر است :

$$\frac{A_t}{A} = \left\{1.414\left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} \quad t \le \frac{t_c}{2}\right\} \quad (۱۱)$$

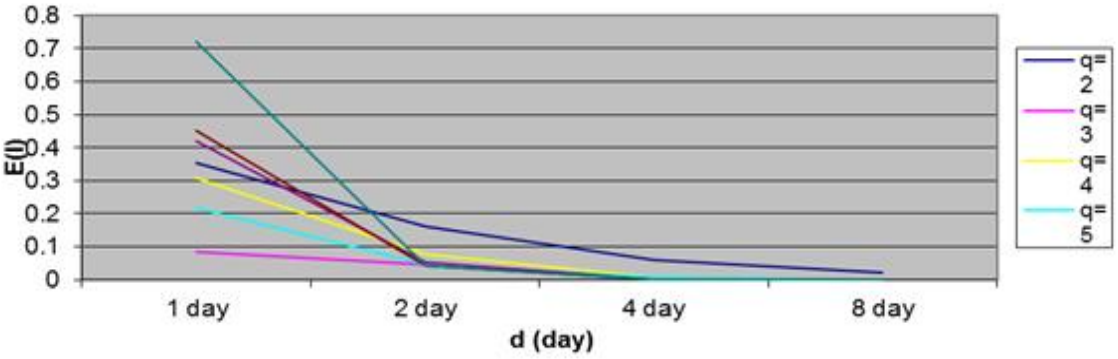
$$\frac{A_t}{A} = \left\{1 - 1.414\left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{1.5} \quad t > \frac{t_c}{2}\right\} \quad (۱۲)$$

که در آن A_t مساحت تجمعی در زمان t، A مساحت کل حوضه آبخیز و C_t زمان تمرکز حوضه آبخیز می‌باشد. در استفاده از این روش در مدل HEC-HMS معرفی پارامتر t_C ضرورت دارد که مقدار آن با استفاده از روش های برآورد زمان تمرکز به دست می‌آید . ضریب ذخیره حوضه (R) شاخص ذخیره زمانی بارش مازاد است که در حوضه آبخیز زهکشی می شود. هم‌چنین با توجه به داده‌های بارش‌رواناب، می تواند از طریق واسنجی نیز برآورد شود (۲۰). در این تحقیق برآورد اولیه زمان تمرکز حوضه با استفاده از فرمول تجربی کرپیچ ۱۰ ساعت بود که پس از کالیبراسیون مدل این پارامتر برابر ۱۲ ساعت به دست آمد.

نتایج

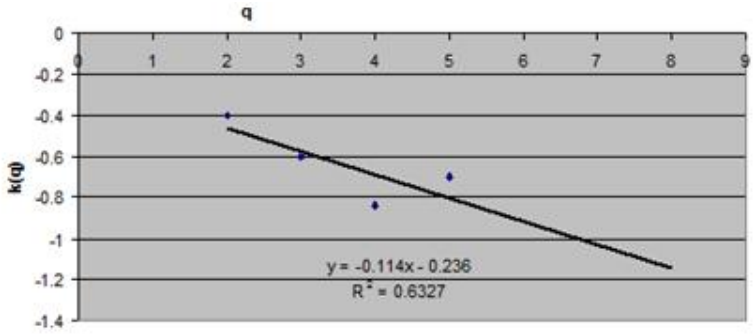
منحنی‌های IDF استخراج شده با تئوری فرکتال

همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود، گشتاورهای آماری در همه مرتبه‌ها در تداوم ۱ تا ۸ روزه از رابطه توانی تبعیت می‌کنند یعنی در مختصات لگاریتمی روی یک خط قرار دارند. این نشان می‌دهد که داده‌های بارش روزانه در بازه ۱ تا ۸ روز از خصوصیت فرکتالی برخوردار هستند و می‌توان در این بازه زمانی، داده‌های بارش را از یک تداوم به تداوم دیگر تبدیل کرد. شیب خطی که مربوط به گشتاور مرتبه q می‌باشد بعنوان مقدار تابع مقیاس K(q) در رابطه $E(I_d^q) = \left(\frac{d}{D}\right)^{K(q)} E(I_D^q)$ مرتبه q تلقی می‌گردد. در شکل۳ تابع مقیاس k(q) (یا شیب خط) در مقابل مرتبه گشتاور (q) ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد تغییرات تابع مقیاس k(q) نسبت به مرتبه گشتاور خطی می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که نوع فرکتال حاکم بر داده‌های بارش در ایستگاه چم انجیر مونوفرکتال بوده و از خاصیت عدم تغییرپذیری مقیاس برخوردار است. در رابطه رگرسیونی k(q) و q که دارای ضریب همبستگی رگرسیونی نزدیک به یک می‌باشد، شیب خط بعنوان توان مقیاس (که همان پارامتر n در رابطه $E(I_d) = \frac{E(I_D)}{D^n} d^n$ است) برابر ۰/۶۸- می‌باشد. در حالت مونوفرکتال، تبدیل تداوم بارش‌ها تنها با یک پارامتر که همان n می‌باشد صورت می‌گیرد که به همین علت داده‌ها از خاصیت عدم تغییرپذیری مقیاس برخوردار هستند.



شکل ۲- گشتاور آماری $E(I_d^q)$ مرتبه q داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف برای ایستگاه باران‌سنجی چم انجیر

Figure 2- Statistical torque $E(I_d^q)$ in degree q for precipitation data in deferent duration at Chamanjir precipitation station

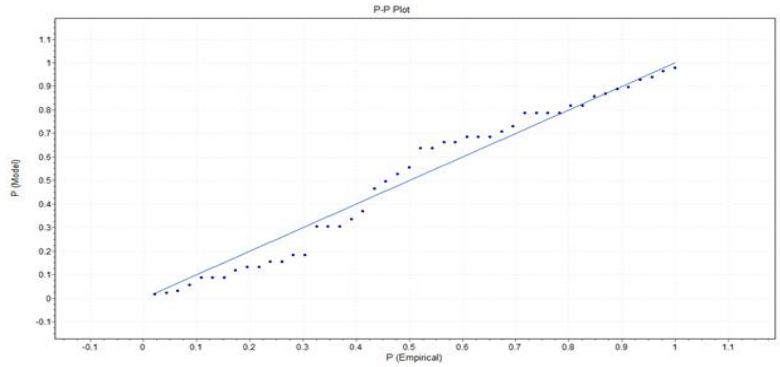


شکل ۳- منحنی تغییرات تابع مقیاس K(q) در برابر q برای داده‌های بارش در ایستگاه باران‌سنجی چم انجیر

Figure 3 – The curve of Changes to the scale function K(q) against q for precipitation data at chamanjir precipitation station

برای استخراج منحنی‌های IDF باید نوع توزیع احتمالاتی مناسب برای داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه تعیین گردد. با آزمون کای اسکور، اندرسون دارلینگ و نیز کولموگروف اسمورنوف در سطح معنی داری ۵ درصد مشخص گردید توزیع احتمالاتی گامبل برای داده‌های حداکثر بارش سالانه مناسب می‌باشد شکل (۴).

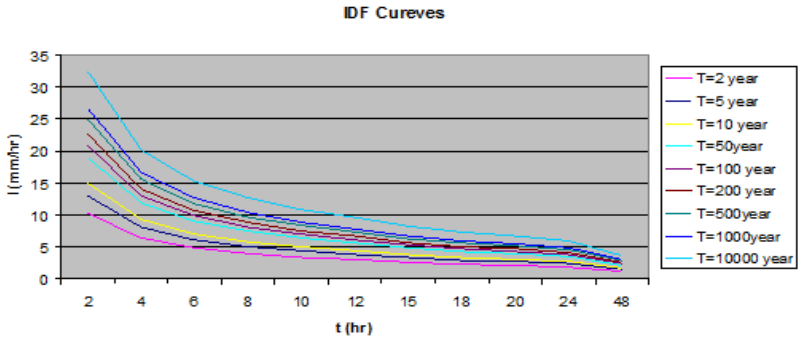
با استفاده از رابطه (۱۰) که برای داده‌های مونوفرکتال با توزیع احتمالاتی گامبل می‌باشد، می‌توان منحنی‌های IDF را استخراج کرد. در این رابطه میانگین و ضریب تغییرات حداکثر شدت بارش سالانه با تداوم روزانه به ترتیب ۱/۹۸ و ۰/۳ mm/hr می‌باشد. شکل ۵ منحنی‌های IDF ایجاد شده به روش فرکتال را نشان می‌دهند.



شکل ٤- مقایسه داده‌های حداکثر سالانه بارش روزانه مشاهداتی و برآورد شده با توزیع گامبل برای ایستگاه باران‌سنجی چم انجیر

Figure 4- Comparison of the maximum annual daily precipitation data of observational and estimated with Gambel distribution for Chamanjir precipitation station

پس از استخراج منحنی‌های IDF به روش فرکتال، شدت بارش طرح برای دوره بازگشت‌های مختلف برای زمان تمرکز T_C = 12hr استخراج گردید که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۵- منحنی‌های IDF استخراج شده به روش فرکتال برای ایستگاه باران‌سنجی چم انجیر

Figure 5- Extracted IDF Curves using Fractal theory for Chamanjir precipitation station

جدول ۲- شدت بارش طرح در دوره بازگشت‌های مختلف در زمان تمرکز حوضه

Table 2 – Intensity of design precipitation in deferent return period (for concentration time of watershed)

T (year) دوره بازگشت (سال)	I(mm/s) شدت بارش(میلی‌متر بر ثانیه)
2	3.00
5	3.85
10	4.40
50	5.64
100	6.15
200	6.67
500	7.35
1000	7.87
10000	9.58

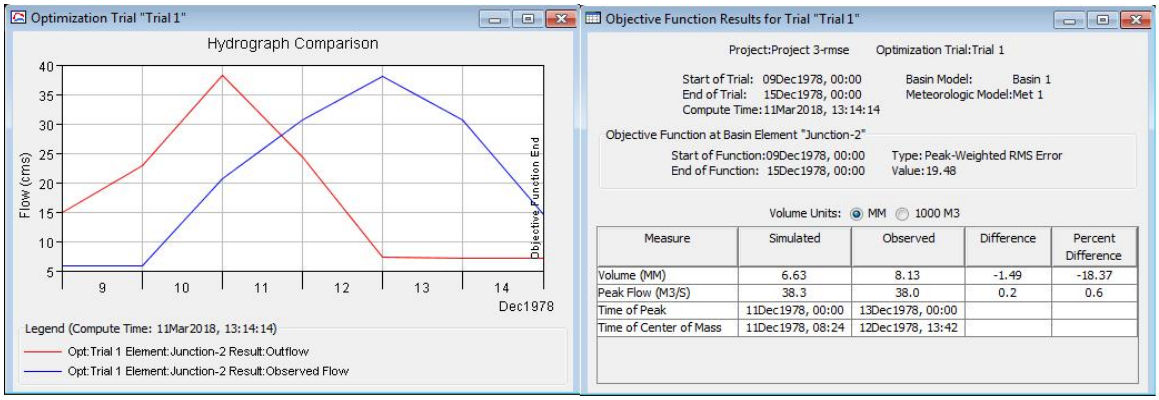
الگوی توزیع زمانی بارش

در روند تبدیل بارش به رواناب ، تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در منطقه تحت مطالعه ضروری است برای اینکار، ابتدا داده های بارش چند رگبار رخ داده در منطقه که توسط ایستگاه بارانسنجی چم‌انجیر ثبت شده بودند با تداوم های زمانی متفاوت به صورت بی بعد ترسیم شدند . برای بی بعد کردن داده های هر طوفان، مقدار عمق تجمعی بارش تا گام زمانی موردنظر به کل عمق بارش طوفان تقسیم شد . همین روش برای بی بعد کردن محور زمان انجام گرفت. با بررسی داده‌های بارندگی رگبارهای مختلف که توسط ایستگاه چم‌انجیر ثبت شده است مشخص شد در اکثر بارش‌ها، ۲۰ درصد بارندگی در ربع زمانی اول،۲۰درصد بارندگی در ربع زمانی دوم، ۴۰ درصد بارندگی در ربع زمانی سوم و ۲۰ درصد بارندگی در ربع زمانی چهارم به وقوع پیوسته است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

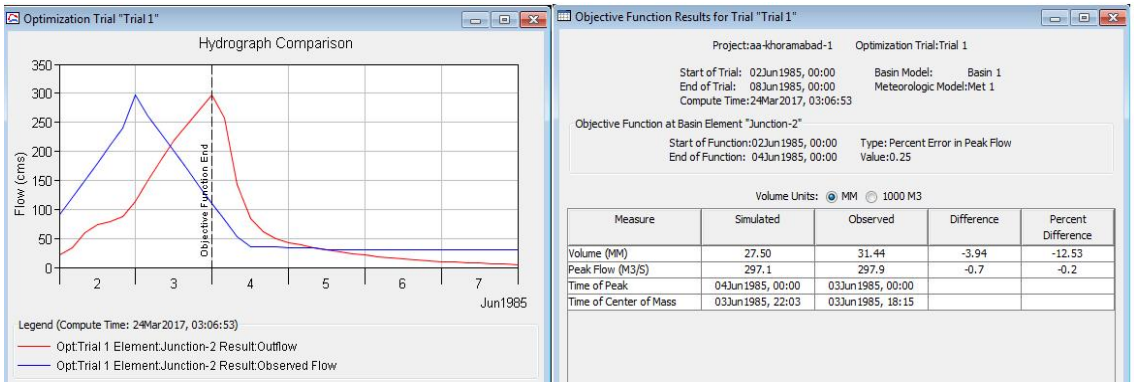
برای واسنجی و صحت سنجی مدل HEC-HMS از بین بارش‌های بحرانی، بارندگی آذر ماه ۱۳۵۷ و بارندگی فروردین ماه ۱۳۶۴ که از نظر کمیت و کیفیت اطلاعات داده‌های پایه نسبتا" کامل بودند، انتخاب شدند.

در شکل های ۶و ۷ هیدروگراف های مشاهده ای و محاسباتی در ایستگاه هیدرومتری چم‌انجیر برای بارندگی‌های ذکر شده مقایسه شده اند. در این تحقیق با توجه به اینکه جهت تعیین سیلاب طراحی سازه‌های هیدرولیکی، دبی پیک از اهمیت زیادی برخوردار است، بهینه‌سازی پارامترها (شامل نرخ تلفات اولیه، شماره منحنی زیرحوضه‌ها، زمان تمرکز، ضریب ذخیره و ضرایب K و X ماسکینگهام) با استفاده از معیار peak – weighted RMS Error و روش جستجوی شیب یک متغیره انجام شده است. همانطور که در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، مقایسه بین هیدروگراف ها نشان می دهد که تطابق خوبی بین هیدروگراف های محاسباتی و مشاهده ای وجود دارد، بگونه ای که اختلاف دبی پیک شبیه‌سازی شده و واقعی ۰/۶ و ۰/۲ درصد برای سیلاب‌های منتخب می‌باشد. دلیل اختلاف زمانی بین نمودار واقعی و نمودار شبیه‌سازی می‌تواند این عامل باشد که در این تحقیق جهت بهینه‌سازی پارامترها از تابع peak – weighted RMS Error استفاده شده است.



شکل ٦- کالیبراسیون مدل HEC-HMS برای سیلاب آذر ۱۳۵۷

Figure 6– Calibration of HEC-HMS model for flood December 1978



شکل ۷- کالیبراسیون مدل HEC-HMS برای سیلاب فروردین ۱۳٦٤

Figure 7 – Calibration of HEC-HMS model for flood March 2008

پس از واسنجی مدل بارش- رواناب HEC-HMS بـرای منطقـه مورد مطالعه از این مدل جهت برآورد سیلاب طرح با استفاده از بارش طرح محاسبه شده در بخش قبل مورد استفاده قرار گرفت. جدول زیـر مقادیر سیلاب طرح را در دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۳- دبی پیک سیلاب طرح حوضه آبریز در دوره بازگشت‌های مختلف

Table 3 – The peak discharge of design flood of watershed in deferent return period

دوره بازگشت (سال) T (year)	دبی (مترمکعب بر ثانیه) $Q(m^3/s)$
2	144
5	243
10	327
50	557
100	671
200	789
500	946
1000	1100
10000	1682

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق منحنی‌های IDF حوضه آبخیز با استفاده از تئوری فرکتال ترسیم گردید. نتیجه این تحقیق نشان داد که با توجه به عدم ثبت آمار ساعتی بارش در تداوم‌های مختلف، استفاده از روش فرکتال می‌تواند راه مفیدی در تهیه منحنی‌های IDF در این حوضه باشد و از روی داده‌های روزانه بارش که در دسترس است این منحنی‌ها بدست آید. همچنین استفاده از مدل بـارش رواناب HEC-HMS نشـان داد که تطابق خوبی بین هیدروگراف مشاهده شـده و شـبیه‌سـازی شـده وجود دارد و می‌توان از این مدل جهت برآورد میـزان رواناب حوضـه استفاده کرد و علت آن درنظر گرفتن متغیرهای مختلف هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه می‌باشد. در این تحقیق جهت بهینه‌سازی پارامترها از تابع peak – weighted RMS Error استفاده شـد و درصـد تفـاوت دبی پیک بین دبی شبیه‌سازی و دبی مشاهده شده در مرحله واسنجی برای دو سیلاب منتخب ۰/۶ درصد و ۰/۲ درصد بوده است. علاوه بر این پس از واسنجی مدل بارش-رواناب، هیدروگراف سیل در دوره ی بازگشت‌های مختلف (از ۲ سال تا ۱۰۰۰۰ سال) تخمین زده شـد کـه دبی اوج سیلاب شبیه‌سازی شده در جدول شماره ۳ ارایه شده اسـت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از روش هیـدروگراف واحد کلارک نسبت به سایر روش‌ها در این حوضه مناسب‌تر می‌باشد.

نتیجه تحقیق حاضر با نتیجه تحقیق نوری قیـداری کـه از روش تئوری فرکتال برای داده‌های ایستگاه باران‌سنجی تنگـه‌پـنج واقـع در استان خوزستان استفاده کردند و نتایج ایشان حاکی از قابـل اسـتفاده بودن از این تئوری در حوضه مورد مطالعه بود در یک راستا قرار دارد. همچنین با آزمون کای اسکور، اندرسون دارلینگ و نیـز کولمـوگروف اسمورنوف در سـطح معنـی داری ۵ درصـد مشـخص گردیـد توزیـع احتمالاتی گامبل برای داده‌های حداکثر بارش سالانه مناسب می‌باشد. در نهایت بعنوان پیشنهاد جهت مطالعات آینده، توصیه می‌شود کـه در مطالعات آتی در این حوضه، سیلاب طرح با استفاده از سایر مدل‌های بارش برآورد و نتیجه حاصل با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

منابع

1. Azari M., Sadeghi H.M., Talvari A. 2008. Determine the participation of sub-basins of Jaghrgh in peak discharge and runoff volume to prioritize flood control. Geography and Development, 12: 199-212. (in Persian with English abstract)
2. Bara M. 2008. Analysis of short-term rainfall intensities the simple scaling approaches. Proceedings of the 20th Conference of young hydrologists, SHMI, Bratislava,CD,10 p.
3. Bara M. 2009. Scaling properties of extreme rainfall in Slovakia. Proceedings of the 11th international science conference of PhD Students, Juniorstav, VUT Brno, CD, 6 p.
4. Burlando P., and Rosso R. 1996. Scaling and multiscaling models of depth – duration – frequency curves for storm precipitation. Journal of Hydrology, 187: 45-65.
5. Cheng K.S., Hueter I., Hsu E.C., and Yeh H.C. 2001. A Scaling Gauss-Markov for Design Storm Hyetographs. Journal of the American Water Resources Association, 37(3): 723-736.
6. Danandehmehr A., Majdzadeh Tabatabai M.R. 2010. Prediction of Daily Discharge Trend of River Flow Based on Genetic Programmin. Journal of Water and Soil, 24: 325-333. (In Persian with English abstract)
7. Deidda R. 2000. Rainfall downscaling in Space – time multifractal framework. Water Resource Research, 36: 1779-1794.
8. Fazaeeli H. 2010. Using Genetic Planning Method in Rainfall Modeling. M.S thesis, Water Engineering Department, Tabriz University.
9. Hajizadeh M., Noorani V. 2011. Presenting a Geomorphological Runoff-Runoff Model Based on the Concept of Nonlinear Cascading Tanks. 6th National Congress of Civil Engineering, Semnan University, p. 1-8. (in Persian)
10. Haghizadeh A., Mohammadloo M., Noori F.2015. Simulation of Runoff Rainfall Process Using Artificial Neural Network and Fuzzy Neuro-Comparative System and Multivariate Regression (Case Study : Khorramabad Watershed). Journal of ecohydrology, 2: 233-243. (in Persian)
11. Kamali M., Solaimani K., Shahedi K., Gord- Noshahri A., Gomrokchi A. 2015. Determining the Flooding Points and Prioritizing Subcatchments of Barajin Catchment of Qazvin Using Hec-HMS and GIS. Iran-Watershed Management Science & Engineering, 9(27-34): 27-34. (in Persian with English abstract)
12. Malamud B. D., and Turcotte D.L. 2006. The applicability of power law frequency statistics of floods. Journal of hydrology, 322:168-180.
13. Molnar P., and Burlando P. 2005. Preservation of rainfall properties in stochastic disaggregation by a simple random cascade model. Atmospheric Research, 77:137-151.
14. Menable M., Seed A., and Pegram G. 1999. A simple scaling model for extreme rainfall. Water Resources , 35: 335-339.
15. Nasri M., Soleimani, F., and Katani, M. 2011. Simulation of the Rainfall-Runoff Process Using of HEC-HMS Hydrological Model (A Case Study of Sheikh Bahaei Dam Basin). World Academy of Science, Engineering and Technology, 54: 548-562.
16. Nhat L.M, Tachikawa Y., Sayama T., and Takara K. 2007. Regional rainfall intensity – duration – frequency relationships for ungauged catchments based on scaling properties. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 50: 33-43.
17. Noori Gheidari M.H. 2012, Extracting the Intensity - Duration – Frequency Curves with Daily Precipitation Data Using Fractal Theory. Journal of Water and Soil, 26(3): 718-726. (in Persian with English abstract)
18. Soltani A., Gorbani M.A., Fakheri Fard A., Darbandi S., and Farsadizadeh D. 2009. Genetic Programming and Its Application in Rainfall-Runoff Modeling. Journal of Water and Soil, 20.1(4): 63-73. (in Persian with English abstract)
19. Taheri Tizro A., Pakdel Khasmakhi H., Marofi S., and Vazifedoust M. 2016. Integrated HEC-HMS and GLDAS models to runoff estimate of ungauged area. Journal of Water and Soil Conservation, 23(4):. 101-118. (in Persian with English abstract)
20. US Army Corps of Engineers. 2000. Hydrologic Modeling System HEC_HMS: Technical Reference Manual, USA.
21. Yu P.S., Yang T.C., and Lin C.S. 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. Journal of Hydrology, 295:108-123.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 6, Jan.-Feb. 2019, p. 1097-1107

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۳۹۷، ص. ۱۱۰۷-۱۰۹۷

Estimation of Design Flood Using Fractal Theory and HEC-HMS Model (Case Study: Khorramabad River Basin)

H.R. Babaali[1]- Z. Ramak[2*]- R. Sepahvand[3]

Received: 23-04-2018
Accepted: 22-10-2018

Introduction: Estimating the design flood of the basin for the design of hydraulic structures, stabilization of river banks, watersheds and flood zoning projects are the most important in hydraulic and hydrological issues and projects. The flood used to design structures and influenced by hydrological events is called design flood which depends on structure safety, cost, life expectancy, and possible damage. Intensity- duration- frequency (IDF) curves of rainfall is a hydrological tool for the estimation of the design flood and design of hydraulic structures. These curves are constructed for a region from rainfall data which are recorded at various continuations. Usually, in some countries such as Iran which has a large extent, there is not enough rain-gage station; or the length of the statistical period is low, so it is impossible to calculate the IDF curves. But since it is not usually possible to access daily rainfall data, the fractal theory can be used to estimate the precipitation data in different consistency and the IDF curve with a very good accuracy.

Materials and Methods: Korramabad river basin, one of sub-basin of Karkhe basin, often has been exposed to destructive floods and damages caused by it. In this research, the intensity-duration-frequency curves of the catchment area are estimated using fractal theory at first, and then the design precipitations are obtained in different return periods. In the next step we calibrated HEC-HMS rainfall- runoff model and finally the design floods are estimated in different return periods. The HEC-HMS model is an extension of the HEC-1 model under Windows, with all its capabilities. Hydrographs calculated by this model are used directly or in combination with other software for various purposes such as water supply, urban drainage, flood and flow forecasting, land use change, flood control studies and exploitation of reservoir systems.

In this research, SCS curve number method and recession method are used to calculate the losses and base flow. Also for estimation of runoff, SCS curve number, Snyder unit hydrograph and Clark unit hydrograph are used in three methods and after comparing the results of the three methods in the calibration stage of the model, the Clarke unit hydrograph method is identified as the best method for estimating runoff. Also the Maskingham method has also been used for flood routing. The data needed for this study include rain gage data, hydrometric data, physiographic data of the basin, and also amounts of CN or curve number of the basin. Rain gage and hydrometric station used in this research are Chamanjir station.

In this research, due to the importance of peak discharge for designing hydraulic structures, the optimization of the parameters has been done using the peak-weighted RMS Error criterion. In the calibration step, Comparison between hydrographs shows that there is a good agreement between computational and observational hydrographs, in such a way that the difference between the simulated and the actual peak discharge are 0.6, 0.2 percent for the selected floods. After calibration of the HEC-HMS rainfall runoff model for the studied area, this model is used to estimate the design flood. In the process of conversion precipitation to runoff, it is necessary to determine the pattern for temporal distribution of rainfall at the stations and in the area. To do so, the non-dimensional rainfall data are plotted for some storms with different time durations. For making data for each storm non-dimensional, the accumulated depth of precipitation to the desired time step was divided by the total depth of storm's rainfall. The same procedure was carried out to make the time axis non-dimensional. By analyzing the precipitation data of the recorder station at the basin, it was found that in the majority of the precipitations, 20% of rainfall occurs in the first quarter, 20% in the second quarter, 40% in the third quarter and 20% in the fourth quarter.

Results and Discussion: The results of this research show that:

1- Assistant Professor of Civil Department, Islamic Azad University branch of Khorramabad, Khorramabad, Iran
2- PhD of Water Resource Engineering, Islamic Azad University branch of science and research,Tehran, Iran
(*-Corresponding Author Email: z_ramak@yahoo.com)
3- Ms in field of Civil Engineering- Graduated from Isfahan University of Technology

- Daily precipitation data have a fractal characteristic in the ranging from 1 to 8 days, and during this time interval, rainfall data can be converted from a continuity to another continuity.
- Due to the lack of recorded rainfall statistics in different continuations, using fractal method can be a useful way to prepare IDF curves in this basin and these curves are obtained based on the daily rainfall data available.
- There is high efficiency of fractal model and HEC-HMS model in this catchment and the Gambel probabilistic distribution is appropriated for the maximum daily rainfall data of this basin.

Keywords: Design precipitation, IDF curves, Hydrological model, Lack of data