Archive of SID

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره سوم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب مستقیم با مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک (مطالعه موردی: آبخیز جعفرآباد استان گلستان)

***رئوف مصطفی‌زاده[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲] و امیر سعدالدین[۲]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۲۳

چکیده

تخمین رواناب در آبخیزهای بدون آمار همواره مورد توجه هیدرولوژیست‌ها و سازمان‌های مدیریت منابع آب در برنامه‌ریزی، توسعه و اجرای بسیاری از پروژه‌ها بوده است. پژوهش حاضر با هدف کاربرد و ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در پیش‌بینی هیدروگراف رواناب سطحی در آبخیز جنگلی جعفرآباد استان گلستان انجام شده است. برای همین منظور نقشه هم‌زمان تمرکز و هیستوگرام زمان- مساحت آبخیز در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی تهیه و سپس هیدروگراف واحد لحظه‌ای با مدل کلارک برای آبخیز مذکور شبیه‌سازی شد. هیدروگراف رواناب مستقیم برای ٦ رگبار بارش با استفاده از مدل یاد شده شبیه‌سازی، و آنالیز حساسیت مدل با ۲ پارامتر زمان تمرکز و ضریب ذخیره در مدل کلارک انجام شد. دقت و کارایی مدل یاد شده در برآورد هیدروگراف رواناب سطحی با شاخص‌های ناش- ساتکلیف و میانگین خطای نسبی در دبی اوج، خطای نسبی در زمان تا اوج و خطای نسبی حجم جریان و مجموع مربعات خطا با داده‌های ثبت شده مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش مدل کلارک فقط پارامتر زمان تا اوج و دبی اوج را با دقت قابل‌قبولی برآورد نمود و در شبیه‌سازی سایر مؤلفه‌های هیدروگراف سیل موفق نبوده است. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای زمان تمرکز و ضریب ذخیره، خروجی‌های مدل به‌میزان زمان تمرکز محاسباتی و مورد استفاده در تهیه هیستوگرام زمان- مساحت حساسیت بالایی داشته است.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز جعفرآباد، شبیه‌سازی رواناب مستقیم، هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، هیستوگرام زمان- مساحت

* مسئول مکاتبه: raoofmostafazadeh@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

کاربرد تئوری هیدروگراف واحد[1] به‌عنوان یک تکنیک کارآمد، امکان ایجاد آمار رواناب سطحی را از بارش‌های مختلف در حوزه‌های بدون ایستگاه هیدرومتری فراهم می‌کند. از دیگر کاربردهای هیدروگراف واحد می‌توان به استخراج سیلاب طرح و حداکثر سیل محتمل، مدل‌سازی بارش- رواناب، پیش‌بینی و توسعه سیستم‌های هشدار سیل و طرح‌های مدیریتی و سازه‌ای کنترل سیل اشاره کرد (میرباقری، ١٩٩٨؛ صفوی، ٢٠٠٦). در کاربرد هیدروگراف واحد همواره باید به محدودیت‌های آن توجه نمود و همراه با قضاوت‌های مهندسی از آن استفاده کرد. جدای از تاثیر رگبار و هایتوگراف، شکل هیدروگراف هر آبخیز بستگی به زمان لازم جهت حرکت آب در طول آبخیز و مشخصات انبار شی آن دارد. با در نظر گرفتن بارش موثر به‌عنوان جریان ورودی و هیدروگراف حوزه به‌عنوان جریان خروجی آبخیز مسأله را می‌توان با روش‌های روندیابی سیل مورد بررسی قرار داد.

کلارک اولین کسی بود که در سال ١٩٤٥ مطالعه روند سیل در یک قسمت از مسیر رودخانه با روش روندیابی با تاخیر[2] را با دقت قابل‌قبولی انجام داد (میرباقری، ١٩٩٨). الصمدی (١٩٩٨) به‌منظور بهبود تخمین هیدروگراف رواناب مستقیم، پس از تهیه خطوط هم‌زمان تمرکز و دیاگرام زمان- مساحت به کمک سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی[3]، هیدروگراف جریان را برای ٣٠ رگبار در آبخیز دشتی ویرجینیا[4] روندیابی نمود. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که توزیع زمانی بارش موثر تاثیر معنی‌داری بر هیدروگراف شبیه‌سازی شده دارد. ثقفیان و همکاران (٢٠٠٢) با به‌کارگیری یک الگوی زمان عبور سینماتیکی به‌منظور بهبود استخراج خطوط هم‌زمان تمرکز با شدت و نفوذ متغیر بارش روش جدیدی را در تبدیل بارش به رواناب ارائه نمودند و با اجرای آن در آبخیز کوچک معرف کاپ ورده[5] در جنوب افریقا این روش را واسنجی و اعتبارسنجی نمودند که نتیجه پژوهش یاد شده توسعه روش روندیابی زمان- مساحت (کلارک) در تلفیق با GIS به روشی با قابلیت توزیعی- هیدرولیکی بود. کومار و همکاران (٢٠٠٢) در مطالعه‌ای بر اساس هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک را استخراج و نتایج را با هیدروگراف‌های لحظه‌ای محاسبه شده از

1. Unit Hydrograph Theory
2. Lag and Route
3. Geographic Information System, GIS
4. Virginia
5. Cape Verde

www.SID.ir

Archive of SID

مدل HEC-1 و ناش[1] توسط تعدادی از توابع خطا مقایسه نمودند. آنها بیان کردند که با توجه بیشتر روی پارامترهای حساس مدل، می‌توان با دقت بیشتر هیدروگراف سیل در آبخیزهای بدون آمار را پیش‌بینی نمود. نوربخش و همکاران (۲۰۰۵) هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک را با استفاده از GIS در آبخیز کارده اجرا نمودند. نتایج آن‌ها بیانگر تطابق مناسب میان هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی و نیز توانمندی مدل در تلفیق با GIS، به‌منظور پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیک آبخیز بود. صادقی و دهقانی (۲۰۰۵) با هدف ارزیابی کارایی مدل کلارک در برآورد هیدروگراف واحد سیل در آبخیز بازفت در استان چهارمحال و بختیاری، نتایج مدل را با داده‌های ثبت شده توسط شاخص‌های آماری درصد خطای نسبی، مجموع مربعات باقی‌مانده، ضریب تناسب و شاخص اریب مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که این مدل به‌صورت قابل‌قبولی توانایی شبیه‌سازی جریان را داشته است. همچنین صادقی و دهقانی (۲۰۰۶) در پژوهش دیگری روش‌های تعیین ضریب ذخیره در مدل کلارک را بررسی، و نتیجه گرفتند که روش لینزلی، مقدار ضریب ذخیره را با دقت بیشتری برآورد می‌نماید. برخورداری و همکاران (۲۰۰۶) با هدف بررسی کارایی مدل کلارک در آبخیز سیخوران با مساحت ۱۳۵ کیلومترمربع در مقایسه با مدل‌های اشنایدر[2]، SCS[3] و مثلثی به این نتیجه رسیدند که دقت مدل کلارک در مقایسه با مدل‌های یاد شده در برآورد خصوصیات جریان کمتر بود. شکوهی و ثقفیان (۲۰۰۶) روش‌های استخراج خطوط هم‌زمان پیمایش را برای استفاده در روش زمان- مساحت مقایسه، و روش لاورنسن[4] را به‌عنوان روش برتر در تعیین موقعیت خطوط هم‌زمان تمرکز[5] معرفی نمودند و بیان کردند که در صورت یافتن روشی مناسب برای تهیه خطوط همزمان تمرکز و مبتنی بر پارامترهای فیزیوگرافی- هیدرولیکی، روش زمان- مساحت می‌تواند جوابی نظیر روش تحلیلی موج سینماتیک ارائه بدهد. بورلتسیکاس و همکاران (۲۰۰۶) فرایند بارش- رواناب در یک آبخیز جنگلی کوهستانی در کشور یونان با روش زمان- مساحت در تلفیق با GIS را شبیه‌سازی نمودند. نتایج آن‌ها بیانگر تطابق ضعیف و وجود یک تاخیر فاز در هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با هیدروگراف‌های ثبت شده بود. کومار و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از روش‌های کلارک و ناش و به کمک داده‌های

1. Nash
2. Snyder
3. Soil Conservation Service
4. Laurenson
5. Isochrones

www.SID.ir

Archive of SID

به‌دست آمده از خصوصیات ژئومورفولوژیک، جریان رواناب مستقیم آبخیز آجای[1] در کشور هندوستان را شبیه‌سازی نمودند و نتیجه گرفتند که استفاده از GIS می‌تواند ابزار مفیدی در کمک به پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های مورد نیاز در مطالعه‌های مدل‌سازی هیدرولوژیک باشد. سیونگ و همکاران (٢٠٠٨) پس از برآورد منطقه‌ای پارامترهای مدل کلارک آن را در آبخیزهایی با داده‌های مشاهداتی محدود در آبخیز رودخانه وی[2] در کشور کره جنوبی ارزیابی نمودند و صحت نتایج مدل یاد شده را مورد تائید قرار دادند. احمد و همکاران (٢٠٠٩) با هدف توسعه مدل کلارک در آبخیز کاها[3] در کشور پاکستان، پس از تهیه هیستوگرام زمان- مساحت و محاسبه ضریب ذخیره با استفاده از روش بهینه‌سازی، مدل یاد شده را با استفاده از ٤ رویداد بارش اعتبارسنجی نمودند و نتیجه گرفتند که ابعاد هیدروگراف شبیه‌سازی شده به دقت محاسبه هر دو پارامتر ضریب ذخیره و زمان تمرکز بستگی دارد. مرور منابع نشان می‌دهد که بررسی‌های کمی در مورد استفاده و ارزیابی درستی مدل‌های مخزن خطی، به‌خصوص مدل کلارک، در کشور صورت گرفته است.

پتانسیل سیل‌خیزی بالا و شیب زیاد آبخیز جعفرآباد یکی از دلایل بروز خسارات ناشی از سیلاب به روستاهای جعفرآباد و تقی‌آباد در مجاورت خروجی آبخیز است. در این پژوهش سعی بر این است که با بهره گرفتن از قابلیت‌های GIS منحنی‌های هم‌زمان تمرکز آبخیز جنگلی جعفرآباد تهیه و با تهیه هیستوگرام زمان- مساحت و استفاده از مدل کلارک فرایند بارش- رواناب در آبخیز جعفرآباد شبیه‌سازی شود. در مرحله بعد میزان دقت و کارایی این مدل در تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای و در نهایت تغییر نتایج مدل نسبت به تغییر پارامترهای ورودی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج می‌تواند در تعیین خصوصیات سیل، برنامه‌ریزی و پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع با وجود امکان استفاده گسترده از GIS و ساده بودن مدل کلارک، استفاده از این مدل در مطالعه‌های هیدرولوژیک کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. توسعه کاربرد روش مورد استفاده می‌تواند در آبخیزهای مشابه بدون ایستگاه و آمار هیدرومتری مورد استفاده محققان و مدیران اجرایی در مطالعه‌های هیدرولوژیک قرار گیرد.

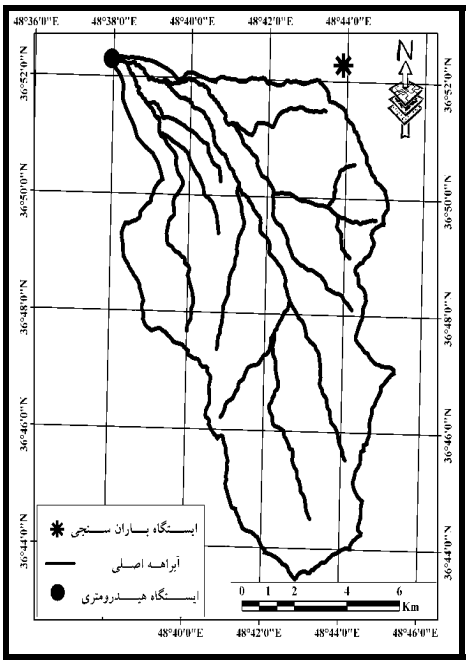
1. Ajay
2. Wi
3. Kaha

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز جعفرآباد از زیرحوزه‌های گرگان‌رود با مساحتی در حدود ۱۱۰ کیلومترمربع و رودخانه‌ای به طول ۲۱ کیلومتر، در ۲۵ کیلومتری جنوب‌شرق گرگان قرار دارد و در محدوده جغرافیایی ´۳۷ °۴۸ تا ´۴۵ °۴۸ طول شرقی و ´۴۳ °۳۶ تا ´۵۲ °۳۶ عرض شمالی در استان گلستان واقع شده است. میانگین دمای سالانه ۱۵/۴۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارش ۵۶۶ میلی‌متر و ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۰۰ متر است. بخش قابل توجهی از حوزه را مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل با شیب زیاد تشکیل داده و خاک منطقه مربوط به گروه‌های هیدرولوژیک B و C بوده و زمین‌شناسی بیشتر مربوط به سازندهای خوش‌ییلاق، جیرود و لس است. در این پژوهش از آمار دبی ساعتی ایستگاه هیدرومتری تقی‌آباد در خروجی آبخیز و آمار ساعتی بارش ایستگاه باران‌سنجی فاضل‌آباد در نزدیکی مرکز ثقل آبخیز استفاده شده است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت آبخیز جعفرآباد.

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق

روش زمان- مساحت یک روش مناسب و ساده است که می‌تواند تغییرات مکانی حوزه و تغییرات زمانی رگبار را شبیه‌سازی نماید (سیونگ و همکاران، ۲۰۰۸). در روش کلارک موج سیل به اندازه زمان پیمایش[1] آبراهه، انتقال داده شده و سپس از مخزنی با مشخصات ذخیره‌ای مشابه با خصوصیات ذخیره‌ای مسیر رودخانه روندیابی می‌شود (سارنگی و همکاران، ۲۰۰۷). به‌منظور تهیه نمودار زمان- مساحت، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی مربوط به آبخیز در محیط نرم‌افزار ArcGis 9.1 رقومی شد و پارامترهای فیزیوگرافی مورد نیاز در محاسبه‌های زمان تمرکز و ضریب ذخیره، استخراج شدند. در این مرحله ابتدا حوزه به مناطق مختلفی به‌وسیله خطوط هم‌زمان تمرکز تقسیم، و برای محاسبه و رسم دیاگرام زمان- مساحت، از روش پروفیل کانال به‌دلیل سادگی استفاده شد (احمد و همکاران، ۲۰۰۹). در این روش با انطباق محور زمان تمرکز به محور طول رودخانه، ارتفاع نقاط تقاطع خطوط هم‌زمان تمرکز با آبراهه‌های اصلی و انشعابات آن محاسبه گردید. برای محاسبه زمان تمرکز آبراهه اصلی از معادله کرپیچ[2] (سینگ، ۱۹۸۸) و تقسیم آن به ده بازه زمانی ۳۰ دقیقه‌ای (سارنگی و همکاران، ۲۰۰۷؛ صادقی و دهقانی، ۲۰۰۶) استفاده شد.

سپس نقشه خطوط هم‌زمان تمرکز، در محیط GIS به‌دست آمد. در مرحله بعد دیاگرام زمان- مساحت آبخیز مورد مطالعه با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه تهیه گردید. از روی هیستوگرام زمان- مساحت، مساحت‌های با اختلاف زمانی Δt استخراج شدند. با ضرب نمودن هیستوگرام زمان- مساحت در عمق بارش، منحنی زمان- رواناب سطحی (هیدروگراف) با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

$$I_t = 0.278\frac{A_t}{\Delta t} \qquad (۱)$$

که در آن، I_t، دبی ورودی در انتهای دوره Δt (مترمکعب در ثانیه) و A_t مساحت شرکت‌کننده در رواناب (کیلومترمربع) می‌باشد (کومار و همکاران، ۲۰۰۲). با توجه به این‌که تداوم بارندگی در رگبارها بیشتر از فاصله زمانی بین خطوط هم‌زمان تمرکز بود، هیدروگراف واحد لحظه‌ای به هیدروگراف واحد با تداوم مورد نظر تبدیل شد (میرباقری، ۱۹۹۸). در ادامه با فرض ثابت بودن دبی ورودی در دوره زمانی Δt، در هر دوره زمانی t ساعته مقدار خروجی O_t با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد:

1. Travel Time
2. Kirpich Formula

www.SID.ir

Archive of SID

$$O_t = CI_t + (1-C)O_{t-1} \quad (۲)$$

که در آن ضریب C، در روش کلارک با استفاده از معادله (۳) و استفاده از ضریب ذخیره K (دارای بعد زمان) برآورد شد (برخورداری و همکاران، ۲۰۰٦؛ صادقی و همکاران، ۲۰۰٦):

$$C = 2\Delta t/(2K + \Delta t) \quad (۳)$$

برای تعیین مقدار ضریب ذخیره K (ساعت)، از روش تحلیل شاخه نزولی هیدروگراف‌های جریان حوزه (روش ترسیمی)، ثابت مربوطه (Kr) و معادله (٤) استفاده شد (میرباقری، ۱۹۹۸؛ صادقی و دهقانی، ۲۰۰٦):

$$K = (1/-\ln K_r) \quad (٤)$$

در این پژوهش ٦ رویداد سیل و بارش متناظر (جدول ۱) با دارا بودن شرایط برای تهیه هیدروگراف واحد از قبیل زمان تمرکز مناسب و میران باران بیش از ۱ سانتی‌متر برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند (رامیرز، ۲۰۰۰؛ هاشمی، ۲۰۰۳).

جدول ۱- مشخصات رویدادهای انتخابی برای تجزیه و تحلیل.

ردیف	تاریخ رویداد	مدت بارش موثر (ساعت)	میزان بارش (میلی‌متر)	شاخص فی (میلی‌متر در ساعت)
۱	۱۳۷۲/۰۸/۲۳	٤	۲۷/۸	۲/٦٤
۲	۱۳۷٤/۰٤/۰۱	٦	٤٦/۷	۲/۷
۳	۱۳۷٦/۰۸/۰۱	٤	۱۲/٤	۱/۹
٤	۱۳۷۷/۱۲/۲٦	۸	٤٥/۳	۱/٥۳
٥	۱۳۷۹/۱۱/۱٦	۸	۲۲/۷	۱/٤۹
٦	۱۳۸۳/۰٤/۱۰	٤	۱٥	۱/۱٥

با توجه به تراکم زه‌کشی بالا، شیب زیاد و مساحت کم آبخیز و در نتیجه واکنش سریع نسبت به بارش‌های ورودی و تخلیه رواناب، و نیز سادگی روش یاد شده مقادیر دبی پایه به روش جداسازی مستقیم در هیدروگراف‌های انتخابی تفکیک، و سپس با توجه به مساحت آبخیز حجم سیلاب، ارتفاع رواناب سطحی و شاخص فی[1] به‌منظور محاسبه بارش موثر، برای هر رویداد محاسبه گردید (رامیرز، ۲۰۰۰؛ صادقی و دهقانی، ۲۰۰٦). مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک بر اساس روش یاد شده در

1. Ø-Index

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق اجرا شد و با توجه به‌مقدار و تاخیر زمانی ضربان‌های بارش موثر، هیدروگراف رواناب مستقیم برای رویدادهای انتخابی شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی مدل با هیدروگراف‌های مشاهداتی از رویدادهای انتخابی مورد مقایسه قرار گرفت. در ارزیابی کارایی مدل، معیارهای نش- ساتکلیف[1] (معادله ٥)، شاخص خطای نسبی (معادله ٦) و مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها (معادله ٧) مورد استفاده قرار گرفت (لهوم و همکاران، ٢٠٠٤؛ صادقی و دهقانی، ٢٠٠٦؛ بهره‌مند، ٢٠٠٦).

$$C_{NS} = 1 - \sum_{i=1}^{n} (Q_{Si} - Q_{Oi})^2 \Big/ \sum_{i=1}^{n} (Q_{Oi} - \overline{Q_O})^2 \qquad (٥)$$

$$\%RE = \left| \frac{Y_S - Y_O}{Y_O} \right| \times 100 \qquad (٦)$$

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_{Oi} - Q_{Si})^2}{n}} \qquad (٧)$$

که در آن، Q_{Si} مقادیر دبی شبیه‌سازی شده، Q_{Oi} مقادیر دبی مشاهداتی، $\overline{Qo}$ میانگین مقادیر دبی مشاهداتی، Y_S و Y_O به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دبی اوج، زمان تا اوج و حجم سیلاب و n تعداد مشاهدات است. در معیار نش- ساتکلیف، مقدار ١ نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی است و هر چه میزان خطای نسبی در دبی اوج و زمان تا اوج و خطای تعادل حجم جریان و مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها، کمتر باشد کارایی مدل بالاتر خواهد بود (بهره‌مند، ٢٠٠٦).

در مرحله بعد آنالیز حساسیت مدل کلارک نسبت به تغییر پارامترهای ورودی انجام گرفت. به‌منظور تعیین یک دامنه قابل قبول برای آنالیز حساسیت پارامتر زمان تمرکز از روش‌های کرپیچ، برانسی ویلیامز، سازمان هوانوردی آمریکا، کربای و ایزارد[2] استفاده شد و با توجه به اعداد به‌دست آمده دامنه ١ تا ٩ ساعت (تغییر یک ساعته در هر بار) به‌منظور آنالیز حساسیت پارامتر زمان تمرکز انتخاب شد (علیزاده، ١٩٩٨). همچنین ضریب ذخیره با استفاده از عوامل فیزیوگرافی در دو روش تجربی کلارک و لینزلی محاسبه، و دامنه عددی ١/٣ تا ٢/١ ساعت (تغییر ٠/١ ساعت در هر بار)، برای بررسی حساسیت نتایج مدل به تغییرات ضریب ذخیره در نظر گرفته شد. با استفاده از روش تغییر یک

1. Nash-Sutcliffe
2. Izard

www.SID.ir

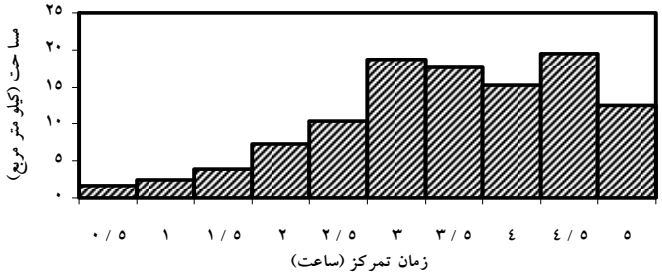
Archive of SID

پارامتر در هر بار[1] (OTA) مدل هیدروگراف لحظه‌ای کلارک به‌منظور تعیین حساسیت مدل به پارامترهای زمان تمرکز و ضریب ذخیره اجرا شد. در هر بار اجرای مدل، مقادیر خطای نسبی در برآورد زیاد یا کم (مثبت یا منفی) پارامترهای هیدروگراف جریان محاسبه گردید (الصمدی، ۱۹۹۸؛ نجفی، ۲۰۰۲).

نتایج

بر اساس روش پژوهش، پارامترهای مورد نیاز اجرای مدل هیدرولوژیک در محیط GIS تهیه شد. در شکل‌های ۲ و ۳، خطوط هم‌زمان تمرکز و هیستوگرام زمان– مساحت آبخیز جعفرآباد نشان داده شده است.

شکل ۲- موقعیت خطوط هم‌زمان تمرکز آبخیز (ساعت) جعفرآباد.



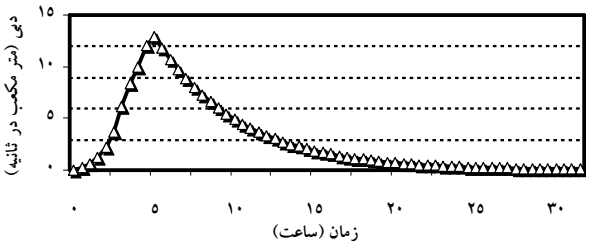
شکل ۳- هیستوگرام زمان مساحت آبخیز جعفرآباد.

1. One-factor At-a-Time

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار ضریب ذخیره نیز بر اساس روش تحلیل شاخه نزولی برابر ١/٦٥ ساعت به‌دست آمد. سپس با فراهم شدن پارامترهای ورودی مدل کلارک، بر اساس روش یاد شده و انجام محاسبه‌های در محیط Excel، هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای آبخیز مورد مطالعه شبیه‌سازی و در شکل ٤ ارائه شده است.



شکل ٤- هیدروگراف واحد لحظه‌ای آبخیز جعفرآباد.

هیدروگراف رواناب مستقیم مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل کلارک، در رگبارهای انتخابی در شکل ٥، ارائه شده است.

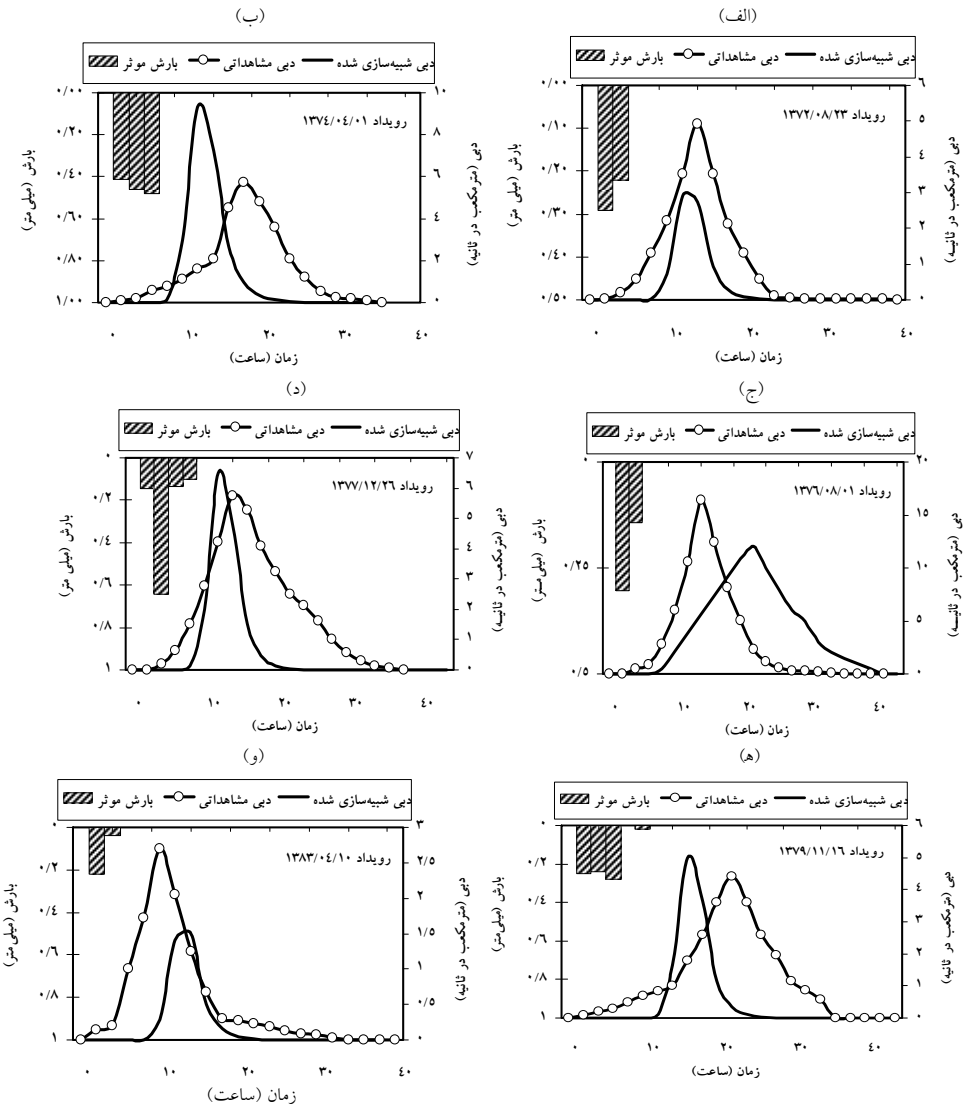
محاسبه‌های معیارهای ارزیابی کارایی مدل در برآورد مؤلفه‌های هیدروگراف جریان برای هر رویداد در جدول ٢ آمده است.

جدول ٢- نتایج ارزیابی مدل کلارک در برآورد مشخصه‌های هیدروگراف سیلاب.

ردیف	رویداد	مجذور میانگین مربعات خطا	معیار نش- ساتکلیف (درصد)	خطای نسبی (درصد)		
				زمان تا اوج	حجم جریان	دبی اوج
١	١٣٧٢/٠٨/٢٣	٠/٧٣	٥٤/٧	٤٢/٨٦	٦٢/٢	٤٠/٧
٢	١٣٧٤/٠٤/٠١	١/٩	١٦/٠	٣٣/٣٣	١٩/٠١	٦٢/٣٤
٣	١٣٧٦/٠٨/٠١	٤/٩٥	٢١/٠	٥٧/١٤	٣٠/٨	٢٦/٩١
٤	١٣٧٧/١٢/٢٦	٢/٢٠	٣٧/٨	١٤/٢٩	٥٦/٨	٤٠/١٨
٥	١٣٧٩/١١/١٦	١/٢٤	١٥/٠	٧٢/٧٣	٥٤/٩٩	١٣/٦
٦	١٣٨٣/٠٤/١٠	٠/٥٣	٢٧/٥	٢٠	٦٤/٥٩	٤٤/٤٦

www.SID.ir

Archive of SID

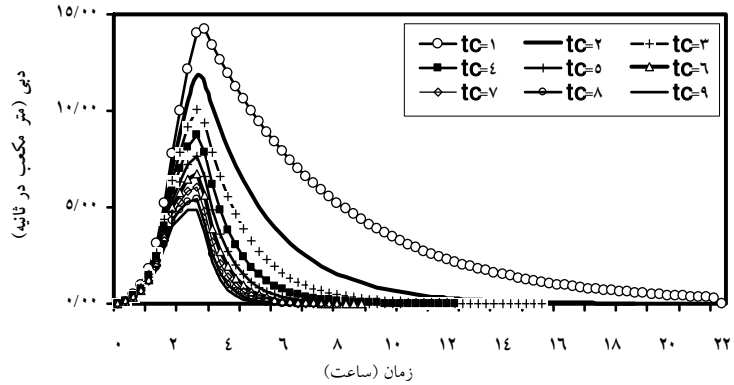


شکل ۵- هیدروگراف‌های رواناب مستقیم مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل کلارک در رویدادهای انتخابی.

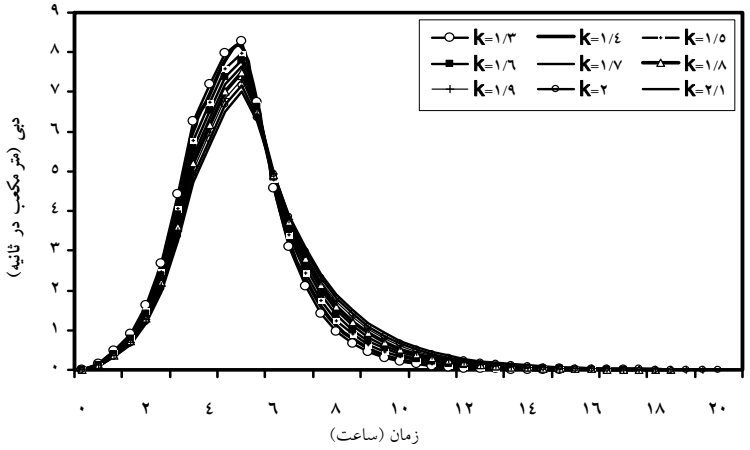
www.SID.ir

Archive of SID

در فرایند آنالیز حساسیت ضمن تعیین پارامتر حساس، میزان تغییر خروجی‌های مدل نسبت به تغییر پارامترهای مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (کومار و همکاران، ٢٠٠٢). نتایج مربوط به آنالیز حساسیت هیدروگراف واحد لحظه‌ای به‌دست آمده به زمان تمرکز و ضریب ذخیره به‌ترتیب در شکل‌های ٦ و ٧ ارائه شده است.



شکل ٦- نتایج آنالیز حساسیت مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک برای مقادیر متفاوت زمان تمرکز (ساعت).



شکل ٧- نتایج آنالیز حساسیت مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک برای مقادیر متفاوت ضریب ذخیره (ساعت).

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌گونه که در شکل‌های ٦ و ٧ مشاهده می‌شود، تاثیر تغییرات پارامتر زمان تمرکز در هیدروگراف خروجی مدل کلارک به مراتب بیشتر از اثر تغییرات ضریب ذخیره است.

مقدار پارامترهای برآورد شده هیدروگراف جریان در هر بار اجرای مدل به‌منظور آنالیز حساسیت و نیز درصد خطای نسبی به ازای تغییر در پارامترهای زمان تمرکز و ضریب ذخیره به‌ترتیب در جدول‌های ٣ و ٤ ارائه شده است. بر اساس روش OTA، در جدول ٣ نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل با تغییر پارامتر زمان تمرکز در دامنه مورد نظر ارائه شده است و در این حالت پارامتر ضریب ذخیره به‌صورت ثابت (مقدار برآورد شده به روش ترسیمی برابر ١/٦٥ ساعت) در نظر گرفته شده است. ولی نتایج ارائه شده در جدول ٤ نتایج اجرای مدل به ازای تغییر ضریب ذخیره در دامنه تعیین شده و مقدار ثابت زمان تمرکز محاسباتی به روش کرپیچ (برابر ٥ ساعت) می‌باشد.

جدول ٣- مقادیر پارامترهای برآورد شده هیدروگراف جریان و درصد خطای نسبی برای مقادیر مختلف زمان تمرکز و ضریب ذخیره ١/٦٥ ساعت.

زمان تمرکز (ساعت)	دبی اوج (مترمکعب‌برثانیه)	خطای‌نسبی (درصد)	زمان‌پایه (ساعت)	خطای‌نسبی (درصد)	حجم سیل (هزارمترمکعب)	خطای‌نسبی (درصد)
١	١٤/٢	٨٦/٠٧	٢٢	١١٤/٦٣	٢١٥٤	٣٩١/٦١
٢	١١/٨	٥٤/٦٩	١٩	٨٥/٣٧	١٠٩٤	١٤٩/٧٥
٣	١٠/١	٣٢/١٨	١٥/٥	٥١/٢٢	٧٣٠	٦٦/٦٢
٤	٨/٧٣	١٤/٣٤	١٢/٢٥	١٩/٥١	٥٤٧	٢٤/٩٧
٥	٧/٦٤	٠	١٠/٢٥	٠	٤٣٨	٠
٦	٦/٧٥	-١١/٦٦	٩	-١٢/٢	٣٦٥	-١٦/٦٩
٧	٦/٠١	-٢١/٢٦	٨	-٢١/٩٥	٣١٢	-٢٨/٥٩
٨	٥/٤	-٢٩/٢٤	٧/٧٥	-٢٤/٣٩	٢٧٣	-٣٧/٥١
٩	٤/٨٩	-٣٥/٩٥	٧	-٣١/٧١	٢٤٣	-٤٤/٤٦

بر اساس نتایج جدول ٣ با افزایش زمان تمرکز، برآورد میزان دبی اوج، زمان پایه و حجم سیل کمتر از مقدار واقعی است ولی در حالت کاهش زمان تمرکز میزان برآورد این پارامترها بیشتر خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- مقادیر پارامترهای برآوردشده هیدروگراف جریان و درصد خطای نسبی برای مقادیر مختلف ضریب ذخیره و زمان تمرکز ٥ ساعت.

ضریب‌ذخیره (ساعت)	دبی اوج (مترمکعب‌برثانیه)	خطای‌نسبی (درصد)	زمان‌پایه (ساعت)	خطای‌نسبی (درصد)	حجم سیل (هزارمترمکعب)	خطای‌نسبی (درصد)
١/٣	٨/٢٩	٨/٤٦	١٥	-١٦/٦٧	٤٣٨	٠
١/٤	٨/١٢	٦/٣٦	١٦	-١٣/٨٩	٤٣٨	٠
١/٥	٧/٩٦	٤/٢٣	١٧	-٨/٣٣	٤٣٨	٠
١/٦	٧/٨	٢/١١	١٧	-٥/٥٦	٤٣٨	٠
١/٧	٧/٦٤	٠	١٨	٠	٤٣٨	٠
١/٨	٧/٤٨	-٢/٠٨	١٨/٥	٢/٧٨	٤٣٨	٠
١/٩	٧/٣٢	-٤/١١	١٩/٥٠	٨/٣٣	٤٣٨	٠
٢	٧/١٧	-٦/١١	٢٠	١١/١١	٤٣٨	٠
٢/١	٧/٠٢	-٨/٠٥	٢٠/٢٥	١٢/٥	٤٣٨	٠

بر اساس نتایج جدول ٤ برآورد مدل کلارک از پارامتر دبی اوج با افزایش و کاهش میزان ضریب ذخیره، به‌ترتیب کمتر و بیشتر از مقدار واقعی است ولی این حالت در مورد پارامتر زمان پایه برعکس می‌باشد. این در حالی است که با تغییر مقادیر ضریب ذخیره تغییری در حجم برآورد شده صورت نمی‌گیرد. لازم به یادآوری است که پارامتر زمان تا اوج هیدروگراف، با تغییر پارامترهای زمان تمرکز و ضریب ذخیره همواره ثابت بوده و میزان خطای نسبی در برآورد آن برابر صفر است.

بحث و نتیجه‌گیری

روش کلارک از روش‌های ساده‌ای است که در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکوهی و ثقفیان، ٢٠٠٦). همان‌گونه در روش پژوهش یاد شد، ابتدا نقشه هم‌زمان تمرکز و هیستوگرام زمان- مساحت آبخیز جعفرآباد تهیه (شکل‌های ٢ و ٣)، و سپس مدل هیدروگراف لحظه‌ای کلارک اجرا گردید (شکل ٤). با در نظر گرفتن هیستوگرام بارش موثر، هیدروگراف رواناب مستقیم برای رگبارهای انتخابی، شبیه‌سازی شد (شکل٥)، در ادامه دقت نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت دو پارامتر ضریب ذخیره و زمان تمرکز در مدل آنالیز حساسیت شدند (شکل ٦ و ٧). در این پژوهش از قابلیت‌های GIS در تهیه منحنی زمان- مساحت استفاده شده

www.SID.ir

Archive of SID

که در راستای اظهارات کومار و همکاران (۲۰۰۷) در مورد افزایش سرعت پردازش اطلاعات فیزیوگرافی مورد نیاز در مطالعه‌های هیدرولوژیک است. بر اساس نتایج مقایسه ظاهری و نیز جدول ارزیابی کارایی (جدول ۲)، در این پژوهش مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، دقت بالایی در برآورد مؤلفه‌های هیدروگراف جریان ندارد و به‌عبارتی فقط پارامتر زمان تا اوج و دبی اوج را با دقت قابل قبول برآورد می‌نماید. باید اذعان کرد که در مطالعه اخیر کارایی مدل کلارک در مجموع چندان مناسب نمی‌باشد، و توپوگرافی متنوع آبخیز جعفرآباد می‌تواند یکی از دلایل وجود خطا در حجم سیل باشد که با نتایج برخورداری و همکاران (۲۰۰۶)، مبنی بر کارایی نداشتن مدل کلارک در آبخیز سیخوران با مساحت ۱۳۵ کیلومترمربع، در مقایسه با مدل‌های اشنایدر، SCS و مثلثی تطابق دارد. مدل کلارک در حوزه‌هایی با وسعت زیاد نتایج بهتری ارائه می‌دهد و در آبخیز مورد مطالعه با مساحت تقریباً کم نتایج خوبی ارائه نداده است. در حالی‌که صادقی و دهقانی (۲۰۰۵) و احمد و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی‌های خود در آبخیزهایی با مساحت تقریبی چندین برابر منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، به نتایج مناسبی دست یافته‌اند. از نتایج بررسی (شکل ۵) می‌توان استنباط کرد که مدل کلارک در رویدادهای انتخابی یک افزایش سریع در شاخه صعودی جریان را شبیه‌سازی نموده و نسبت به هیدروگراف‌های مشاهداتی دارای اختلاف فاز است که می‌توان آن را با نبود دقت کافی روش کرپیچ در محاسبه زمان تمرکز مرتبط دانست. آبخیز جعفرآباد دارای توپوگرافی شدید، پوشش جنگلی انبوه و شیب زیاد می‌باشد. بدیهی است که در مدل کلارک، که وضعیت پوشش گیاهی و خاک را در نظر گرفته نشده است زمان پایه هیدروگراف شبیه‌سازی شده کوتاه‌تر خواهد بود که با نتایج بررسی بورلتسیکاس و همکاران (۲۰۰۶) در این خصوص مطابقت دارد. به گفته صادقی و دهقانی (۲۰۰۶) شکوهی و ثقفیان (۲۰۰۶) و کومار و همکاران (۲۰۰۲) بخشی از دقت در برآورد هیدروگراف جریان، به روش مورد استفاده در تعیین پارامترهای ورودی مدل وابسته است. بخشی از نبود دقت کافی مدل کلارک در پژوهش حاضر را می‌توان به روش کرپیچ در محاسبه زمان تمرکز نسبت داد، که نتایج آنالیز حساسیت در این بررسی، گفته‌های این محققان را تایید می‌نماید. نتایج آنالیز حساسیت در پژوهش حاضر، بیانگر حساسیت کمتر مدل به ضریب ذخیره است در نتیجه استفاده از روش لینزلی هم در تعیین این پارامتر مناسب به‌نظر می‌رسد که اظهارات صادقی و دهقانی (۲۰۰۶)، در خصوص کارایی روش تجربی لینزلی در محاسبه K را اثبات می‌کند. نتایج استفاده از روش ترسیمی در تعیین پارامتر ضریب ذخیره با نتایج برخورداری و همکاران (۲۰۰۶) هم‌خوانی دارد. وجود خطا در داده‌های

www.SID.ir

Archive of SID

بارش موثر و توزیع زمانی آن یکی دیگر از دلایل عملکرد نامناسب مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در حوزه آبخیز مورد مطالعه بوده است که با نتایج بررسی‌های سارنگی و همکاران (۲۰۰۷) هم‌خوان است. استفاده از شاخص‌های ارزیابی میزان خطا در نتایج مدل با روش به‌کار رفته در تحقیق احمد و همکاران (۲۰۰۹) در یک راستا است. برآورد منطقه‌ای پارامترهای مدل کلارک می‌تواند یکی از پیشنهادهای این تحقیق در راستای نتایج سیونگ و همکاران (۲۰۰۸) مبنی بر امکان استفاده از مدل یاد شده برای آبخیزهایی با داده‌های محدود باشد.

بر اساس نتایج پژوهش می‌توان گفت که دقت نتایج مدل کلارک به محاسبه زمان تمرکز و ضریب ذخیره آبخیز به‌عنوان پارامترهای ورودی وابسته است، بنابراین محاسبه دقیق این پارامترها می‌تواند درستی نتایج مدل یاد شده را بهبود بخشد. از مزایای مدل کلارک می‌توان به سادگی و در دسترس بودن پارامترهای ورودی آن اشاره نمود بنابراین برای تعیین دقت مدل و گسترش کاربرد این مدل در مطالعات هیدرولوژیک آبخیزها توصیه می‌شود که این مدل در آبخیزهای متفاوت دیگر نیز مورد آزمون قرار گیرد.

منابع

1.Ahmad, M.M., Ghumman, A.R., and Ahmad, S. 2009. Estimation of Clark's instantaneous unit hydrograph parameters and development of direct surface runoff hydrograph. J. Water Resour. Manage., DOI 10.1007/s11269-008-9388-8.

2.Alizadeh, A. 1998. Principles of applied hydrology. Emam Reza. Press, 634p. (In Persian)

3.Al-Smadi, M. 1998. Incorporating spatial and temporal variation of watershed response in a GIS-based hydrologic model, M.Sc. Thesis in Biological Systems Engineering, Virginia, Blacksburg, 148p.

4.Bahremand, A. 2006. Simulating the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS. Ph.D. Dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 122p.

5.Barkhordari, J., Telvari, A., Ghiassi, N., and Rastgar, H. 2006. A study on ability of uses and assessment of synthetic unit hydrograph in flood estimation in Sikhoran watershed, Hormozgan Province. J. Pajohesh & Sazandegi, 71:57-65. (In Persian)

6.Bourletsikas, A., Baltas, E., and Mimikou, M. 2006. Rainfall-runoff modeling for an experimental watershed of Western Greece using extended time-area method and GIS. J. Spatial Hydro. 6:1-12.

www.SID.ir

Archive of SID

7.Clark, C.O. 1945. Storage and the unit hydrograph. Transactions of the American Society of Civil Engineers 110, 1419-1446.
8.Hashemi, R. 2003. Engineering Hydrology, Shoara Press, 381p. (Translated in Persian).
9.Kumar, R., Chatterjee, C., Lohani, A.K., Kumar, S., and Singh, R.D. 2002. Sensitivity analysis of the GIUH based Clark model for a catchment. J. of Water Resour. Manag., 16:263-278.
10.Kumar, R., Chatterjee, C., Singh, R.D., Lohani, A.K., and Kumar, S. 2007. Runoff estimation for an ungauged catchment using geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) models. J. Hydrol. Proces., 21:1829-1840.
11.Lhomme, J., Bouvier, C., and Perrin, J.L. 2004. Applying a GIS-based geomorphological routing model in urban catchments. J. Hydrol., 299: 203-216.
12.Mirbagheri, S.A. 1998. Engineering Hydrology. Shiraz Univ. Press. 562p. (In Persian)
13.Najafi, M.R. 2002. Hydrologic systems rainfall-runoff modeling. Tehran Univ. Press. Vol. (1 and 2): 1056p. (Translated in Persian)
14.Noorbakhsh, M.E., Rahnama, M.B., and Montazeri, S. 2005. Estimation of IUH with Clark's method using GIS techniques. J. Applied Sci., 5:3.455-458.
15.Ramirez, J.A. 2000. Prediction and modeling of flood hydrology and hydraulics, Cambridge University Press, Pp: 53-61.
16.Sadeghi, S.H.R., and Dehghani, M. 2005. Efficiency of Clark IUH in flood unit hydrograph regeneration. J. Iran Water Resour. Res., 1:2. 97-99.
17.Sadeghi, S.H.R., and Dehghani, M. 2006. Efficiency of estimation methods for storage coefficient of instantaneous unit hydrograph in flood unit hydrograph regeneration. J. Agri. Sci. and Natur. Res., 13:3.152-160. (In Persian)
18.Safavi, H.R. 2006. Engineering Hydrology. Ardakan Press, 620p. (In Persian)
19.Saghafian, B., Julien. P.Y., and Rajaie, H. 2002. Runoff hydrograph simulation based on time variable isochrone technique. J. Hydro., 261:193-203.
20.Sarangi, A., Madramootoo, C.A., Enright, P., and Prasher, S.O. 2007. Evaluation of three unit hydrograph models to predict the surface runoff from a Canadian watershed. J. Water Res. Manag., 21:1127-1143.
21.Seong, K.W., Ball, J.E., and Lee, Y.K. 2008. Application of a regionalized Clark IUH model with limited hydrologic data availability. J. Hydro. Proces., 22: 3651-3660.
22.Shokoohi, A., and Saghafian, B. 2006. Isochrones mapping methods in time-area routing technique. J. Iran Water Resour. Res., 2:3. 39-50. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(3), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Simulating the direct runoff hydrograph using Clark instantaneous unit hydrograph (Case study: Jafar-Abad Watershed, Golestan Province)

***R. Mostafazadeh[1], A. Bahremand[2] and A. Sadaddin[2]**

[1] M.Sc. student of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2] Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Estimating runoff from ungauged catchments has been an important subject for experts in planning, development and operation of various water resources projects. Focus of this study was on application and evaluation of Clark instantaneous unit hydrograph in predicting direct runoff hydrograph of Jafar-Abad watershed, Golestan Province. Isochron map and time-area histogram were extracted using GIS technique and IUH of study area was also simulated by Clark IUH model. The direct runoff hydrograph was simulated for six storm events. Time of concentration and storage coefficient were considered for sensitivity analysis of Clark IUH model. The efficiency of Clark IUH model in predicting direct runoff hydrographs was evaluated by Nash-Sutcliffe, relative error of peak discharge, time to peak and volume, and root mean square error criteria. The results showed that Clark IUH model just predicted time to peak and peak discharge with good accuracy. Sensitivity analysis of input parameters (storage coefficient and time of concentration) indicated that model outputs were strongly affected by value of calculated time of concentration for watershed.

Keywords: Clark instantaneous unit hydrograph, Direct runoff simulation, Jafar-Abad watershed, Time-area histogram

∗ Corresponding Author; Email: raoofmostafazadeh@yahoo.com

www.SID.ir