پژوهش‌های آبخیزداری شماره ۸۶، بهار ۱۳۸۹
(پژوهش و سازندگی)

مقایسه کارایی روش‌های تخمین پارامترهای مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز جعفرآباد

• **عبدالرضا بهره‌مند**، استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسئول)
• **رئوف مصطفی‌زاده**، دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: آذر ماه ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش:مرداد ماه ۱۳۸۸
تلفن تماس: ۰۹۱۳۳۴۸۹۸۰۱
Email: abdolreza.bahremand@yahoo.com

چکیده

مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ایNash یکی از مدل های ساده و کارآمد در شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز است. اساس مدل نش بر فرض رفتار حوزه آبخیز به عنوان آبشاری از n مخزن خطی متوالی هر یک با ضریب ذخیره k بنا نهاده شده است. دقت تخمین پارامترهای nوk در مدل نش، بر بهبود نتایج شبیه‌سازی جریان تاثیر زیادی دارد. این تحقیق با هدف مقایسه روش‌های تخمین پارامترهای و بر نتایج مدل Nash در حوزه آبخیز جعفرآباد با مساحتی حدود ۱۰۹ کیلومتر مربع در استان گلستان انجام شده است. بر این اساس پارامترهای nوk با استفاده از روش‌های ممان، سعی و خطا، روش ترسیمی هان، روش Bhunya و همکاران و روش زمان تا اوج- زمان تا عطف (در ۳۳ رویداد بارش و دبی متناظر) محاسبه شده است و این مقادیر در روش تجربی Nash با استفاده از پارامترهای nوk فیزیوگرافی بدست آمده است. میانگین پارامترهای محاسبه شده از روش‌های مذکور برای اجرای مدل نش در چهار رویداد متفاوت دیگر مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. هیدروگراف‌های محاسباتی مدل Nash با استفاده از پارامترهای روش‌های مختلف، با معیارهای آماری و هیدروگراف‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از روش ممان و سعی و خطا در محاسبه پارامترهای nوk ، هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده بیشترین تطابق را با هیدروگراف‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. معیار نش- ساتکلیف به عنوان یکی از معیارهای بررسی تطابق و کارآیی مدل برای دو روش مذکور به ترتیب ۷۶ و ۷۰ درصد برآورد گردید. هم چنین روش‌های زمان اوج- زمان عطف، تجربی Nash و روش Bhunya و همکاران در تخمین مقادیر و در این تحقیق نتایج ضعیفی ارائه داده‌است. بنابراین در حوزه آبخیز جعفرآباد، روش ممان و بعد از آن روش سعی و خطا به عنوان روش‌های مناسب در تعیین مقادیر nوk در مدل Nash معرفی می‌شوند. به منظور توسعه و کاربرد این مدل هیدرولوژیک توصیه می‌شود روش های برآورد پارمترها در سایر حوزه‌های آبخیز نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی جریان سطحی، مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای Nash، تخمین پارامترهای nوk ، روش ممان، حوزه آبخیز جعفرآباد

Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 86 pp: 42-51

Comparison of different methods for parameter estimation of nash's instantaneous unit hydrograph in jafarAbad watershed

By:A. R. Bahremand, Assistant Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, (Corresponding Author; Tel:+989133489801)

R.Mostafazadeh, M.Sc Student of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

Nash instantaneous unit hydrograph is frequently used for simulating hydrological response in natural watersheds. The accuracy of estimating the parameters n and k in Nash model directly affect simulation results. This study focuses on the evaluating different methods of estimating the Nash model parameters (n and k) in Jafar-Abad watershed (109 km2) located in Golestan province. Using Different methods such as moment, trial-and-error, Han's graphical method, time to peak – time to inflection point and Bhunya et al methods, the n and k parameters was calculated using 33 stormevents, and physiographic parameters was used for experimental Nash formula. Then the mean value of n and k, were used for simulation of 4 other storm events as model validation. The efficiency of Nash model results was evaluated by statistical comparison with the observed hydrographs. The results show that using moment and trial-and-error methods in n and k parameters estimation, the Nash model predict direct runoff hydrographs with good accuracy, 76% and 70 % respectively according to the Nash-Sutcliffe criterion. Also the results indicate that other methods give weak results comparing with moment and trial-and-error methods. Thus regionalization of Nash's model parameters (n and k) by mentioned methods, in similar catchments introduced for development and application of this hydrological model.

Keywords: Rainfall-Runoff modeling, Nash's IUH model, n and k parameters estimation, Moment method, The Jafar-Abad Watershed.

مقدمه

مساله اصلی که مدل‌های بارش- رواناب به حل آن می‌پردازند تعیین پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز به بارش و رگبارهای اتفاق افتاده می‌باشد. حل این مساله امکان پیش‌بینی وقایع هیدرولوژیک آینده و عواقب تغییرات هیدرولوژیک و تصمیمات مدیریتی در حوزه‌های آبخیز را فراهم می‌نماید. علاوه بر نیازهای پیش‌یابی ضرورت تعیین رفتار هیدرولوژیک حوزه آبخیز و شبیه‌سازی جریان برای طراحی سازه‌های آبی و خصوصاً ارزیابی تاثیر عملیات اجرا شده بر رژیم جریان از جمله کاربردهای دیگر مدل‌های هیدرولوژیک می‌باشند. با توجه به مشکل کمبود و نقص آمار هیدرومتری در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور، نیاز به استفاده از مدل‌های هیدرلوژیک ساده و مناسب و توسعه آنها در حوزه‌های آبخیز فاقد ایستگاه هیدرومتری از موارد ضروری است (۱). مفهوم هیدروگراف واحد ارائه شده توسط Sherman (۱۹۳۲)، امروزه به یکی از ابزارهای قوی در هیدرولوژی کاربردی تبدیل شده است (۱۲). برای حوزه‌های آبخیز فاقد آمار و یا در شرایطی با محدودیت داده هیدروگراف واحد مصنوعی به روش‌های Snydir (۱۹۳۸)؛ Clark (۱۹۴۵)؛ SCS[1] (۱۹۵۷)؛Gary (۱۹۶۱)وNash(۱۹۵۹)مورداستفاده‌قرارمی‌گیرد(۴). در این میان کاربرد مدل مخزن خطی نش به دلیل سادگی همواره مورد توجه بوده است. برآورد دقیق خصوصیات هیدروگراف جریان از مواردی است که برای طراحی بهینه سازه‌های مهندسی ضرورت دارد. بخشی از نتایج مدل سازی هیدرولوژیک به دقت روش‌های مورد استفاده در محاسبه پارامترهای مدل بستگی دارد (۱). عدم دقت در پارامترهای مدل نش اغلب باعث بروز خطا و انحراف در هیدروگراف محاسباتی می‌شود (۱۱). روش‌های مختلفی برای تخمین پارامترهای n و kتوسط Nash، Haan (۱۹۶۲)، Croley، Bhnuya و همکاران ارائه شده‌است که بسته به نوع روش، از خصوصیات بارش، رواناب سطحی و پارامترهای فیزیوگرافی استفاده می‌شود. Agirre و همکاران (۵)، با استفاده از روش ممان در شبیه‌سازی جریان به نتایج مناسبی دست یافته‌اند. نجفی (۱۳)، با هدف تبدیل بارش موثر به رواناب، پس از تهیه مدل مفهومی فیزیوگرافیک و اجرای آن در حوزه آبخیز کلار دریافت که حداکثر خطای نسبی مدل در برآورد پارامترهای جریان به میزان ۵/۸ درصد است که در صورت استفاده از داده‌های مناسبتر بارش و تفکیک دقیق میزان بارش موثر، نتایج بهبود پیدا خواهد کرد. Singh و همکاران (۱۵)، پس از توسعه مدل هیبرید با اضافه نمودن یک کانال خطی میان دو مخزن متوالی در مدل نش و مقایسه نتایج در پنج حوزه آبخیز نتیجه گرفتند که مدل هیبرید توسعه یافته در حوزه‌های آبخیز وسیع، نتایج بهتری از سایر مدل ها ارائه خواهد داد و نیز دبی اوج بیشترین حساسیت را به تغییر پارامتر k از خود نشان می‌دهد. Bhnuya و همکاران (۸ ، ۹)، بر اساس خصوصیات هیدروگراف رابطه‌ای را برای تخمین پارامترهای n و k در کشور هندوستان ارائه دادند. Nash (۱۹۶۲)، بر اساس مطالعات در تعدادی از حوزه‌های آبخیز کشور انگلستان روابطی تجربی را برای محاسبه ورودی‌های مدل نش ارائه داد (۲). Dong (۱۱)، در یک تحقیق سه روش ممان‌ها، تقریبی و الگوریتم ژنتیک را در تخمین پارامترهای مدل نش در حوزه آبخیز کیوینگ در کشور چین مورد ارزیابی قرار داد. جمع

Archive of SID

www.SID.ir

وزنی خطاهای مطلق در سه روش مورد استفاده به ترتیب، ۶۳، ۴۹ و ۲۵ بوده‌است. بر این اساس وی روش الگوریتم ژنتیک را به عنوان مناسب ترین روش معرفی نمود. Bardossy (۷)، با روش سعی و خطا دسته‌هایی از پارامترهای و را تعیین کرد و با اجرای مدل نش در ۱۶ حوزه آبخیز رودخانه راین نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن دامنه‌ای برای می‌توان را به شیوه‌ای محاسبه کرد که مقدار برابر تاخیر تجمعی آبشارهای مخازن متوالی باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تحقیقات اندکی در مورد کاربرد و ارزیابی دقت روش‌های تعیین پارامترهای و در مدل نش در کشور صورت گرفته است. هدف این تحقیق مقایسه نتایج مدل نش به ازای مقادیر متفاوت پارامترهای n و k در روش‌های مختلف است و در ادامه سعی می‌شود مناسب ترین روش تعیین پارامترهای ورودی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش معرفی گردد. بر این اساس دقت روش‌های ممان، سعی و خطا، روش تجربی Nash، روش ترسیمی هان، روش Bhunya و همکاران و روش زمان تا اوج- زمان تا عطف در تخمین پارامترهای و بر نتایج شبیه‌سازی جریان در مدل نش، مقایسه و ارزیابی می‌شود. نتایج می‌تواند برای توسعه‌ی کاربرد این مدل در اهداف تحقیقاتی، برنامه‌ریزی و پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز به منظور مدیریت سیلاب مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مشخصات حوزه آبخیز جعفرآباد

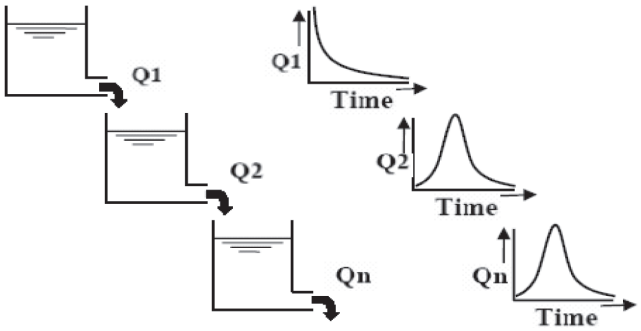
حوزه آبخیز جعفرآباد از زیرحوزه‌های آبخیز گرگان رود با مساحتی حدود ۱۰۹۴۷ هکتار در ۲۵ کیلومتری جنوب شرق گرگان و محدوده‌ی جغرافیایی ´۳۷ °۴۸ تا ´۴۵ °۴۸ طول شرقی و ´۴۳ °۳۶ تا ´۵۲ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. میانگین دمای سالانه حدود ۱۵ درجه سانتیگراد، متوسط بارش ۵۶۶ میلی‌متر و حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۸۰ و ۲۵۳۰ متر است. بخش قابل توجهی از حوزه آبخیز را جنگل تشکیل داده و زمین‌شناسی منطقه بیشتر مربوط به سازندهای خوش‌ییلاق، جیرود و لس است. آمار دبی و بارش ساعتی ایستگاه‌های هیدرومتری تقی‌آباد و باران‌سنجی ایستگاه فاضل‌آباد از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شده و در تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌است. لازم به ذکر است که در انتخاب وقایع بارش و سیلاب، کامل بودن هیدروگراف‌ها و هایتوگراف‌ها در بازه‌های زمانی ثبت داده‌ها، تک اوجه بودن هیدروگراف و متناظر بودن وقایع بر اساس تاریخ وقوع مورد توجه بوده است. در جدول ۱ بعضی از مشخصات رویدادهای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل ارائه شده است.

روش تحقیق

روش هیدروگراف لحظه‌ای نش در شبیه‌سازی جریان سطحی در حوزه آبخیز

بر اساس مفهوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای، Nash (۱۹۵۹) مدلی مفهومی ارائه نمود که به روش مخزن خطی شناخته شده است (۱۶). فرمول‌بندی هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش بر فرض رفتار حوزه آبخیز به عنوان آبشاری از مخازن خطی متوالی است (شکل۱)، که بارش موثر به صورت لحظه‌ای به اولین مخزن وارد می‌گردد (۵ ، ۱۵). در این روش حوزه آبخیز به مخزن خطی که به صورت سری با هم ارتباط دارند در نظر گرفته می‌شود به گونه‌ای که بین انبارش (ذخیره) و جریان خروجی هر مخزن رابطه S=KQ برقرار است و پس خروجی از اولین مخزن و هیدروگراف واحد لحظه‌ای (تابع پاسخ ضربه) در مدل نش به ترتیب، تا آخرین مخزن ادامه می‌یابد.

شکل۱-آبشار مخازن خطی متوالی در مدل نش (۵)



خروجی از اولین مخزن و هیدروگراف واحد لحظه‌ای (تابع پاسخ ضربه) در مدل نش به ترتیب، به صورت رابطه های ۱ و ۲ بیان می‌شود.

$$Q_1 = \frac{1}{k} e^{-\frac{t}{K}} \quad (۱)$$

$$Q_n = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \quad (۲)$$

که رابطه ۲، یک توزیع گاما با پارامترهای k و n است $\Gamma(n)$ و (n-۱)! برابر فاکتوریل است، تعداد مخازن، t ضریب ثابت ذخیره برحسب زمان و ، زمان است (۵ ، ۷ ، ۱۶). برای تخمین مقادیر n و k در مدل نش روش‌های مختلفی توسط محققان پیشنهاد شده است. که در این تحقیق روش های زیر مورد استفاده قرار گرفته‌است.

روش ممان‌ها: روش ممان با روابط ۳ و ۴ بیان می‌شود:

$$M_{Q1} - M_{I1} = nk \quad (۳)$$

$$M_{Q2} - M_{I2} = n(n+1)k^2 + 2nkM_{I1} \quad (۴)$$

که در آن، M_{I1} و ،M_{I2} به ترتیب، ممان اول و دوم بارش موثر نسبت به مبدا زمان تقسیم بر مجموع بارش مازاد و M_{Q1} وM_{Q2} ، ممان اول و دوم رواناب مستقیم نسبت به مبداء زمان تقسیم بر مجموع رواناب مستقیم است (۳ ، ۱۱).

روش سعی و خطا

در این روش مقادیر بهینه‌ی n و k حاصل از سعی و خطا به صورت مجموعه‌هایی تعیین شده و بهترین برازش با هیدروگراف‌های مشاهداتی جریان به دست می‌آید (۷).

Archive of SID

جدول ۱- بعضی از مشخصات رویدادهای انتخابی برای تجزیه و تحلیل

شماره رویداد	رویداد	مدت بارش موثر (hr)	بارش (mm)	نفوذ (شاخص‌فی) (mm/hr)	شماره رویداد	تاریخ	مدت بارش موثر (hr)	بارش (mm)	نفوذ (شاخص فی) (mm/hr)
۱	۱۳۶۹/۱۰/۱۵	۶	۲۵/۵	۲/۴۷	۱۸	۱۳۸۱/۰۱/۰۳	۴	۱۰/۳	۱
۲	۱۳۶۹/۰۸/۱۰	۴	۱۷/۸	۲/۶۸	۱۹	۱۳۸۱/۰۳/۱۷	۲	۵	۲/۹
۳	۱۳۷۰/۰۱/۲۴	۴	۱۳	۱/۲۸	۲۰	۱۳۸۲/۰۳/۰۳	۴	۱۸/۷	۲
۴	۱۳۷۰/۰۲/۱۳	۱۲	۴۴/۸	۱/۶	۲۱	۱۳۸۲/۰۴/۰۳	۴	۲۰/۱	۱/۹
۵	۱۳۷۰/۰۳/۰۲	۲	۱۷/۷	۲/۵۸	۲۲	۱۳۸۳/۱۲/۱۵	۸	۱۵/۷	۱/۳
۶	۱۳۷۲/۰۸/۲۳	۴	۲۷/۸	۲/۶	۲۳	۱۳۸۳/۱۲/۰۴	۲	۶/۸	۲/۶
۷	۱۳۷۳/۰۲/۱۶	۸	۱۹/۲	۱/۲	۲۴	۱۳۸۳/۱۰/۰۷	۲	۶/۴	۲/۶
۸	۱۳۷۴/۰۴/۰۱	۶	۴۶/۷	۲/۷	۲۵	۱۳۸۳/۰۹/۰۸	۴	۱۳	۱/۴
۹	۱۳۷۷/۰۲/۰۴	۶	۳۰/۲	۲/۲	۲۶	۱۳۸۳/۰۸/۲۸	۲	۳۴	۸
۱۰	۱۳۷۷/۱۱/۰۱	۶	۱۲/۵	۰/۷۴	۲۷	۱۳۸۳/۰۶/۲۸	۴	۷/۲	۱/۲
۱۱	۱۳۷۷/۱۲/۲۶	۸	۴۵/۳	۱/۵۳	۲۸	۱۳۸۳/۰۴/۲۰	۴	۸/۷	۱
۱۲	۱۳۷۸/۰۷/۲۱	۴	۶۳/۵	۴/۸	۲۹	۱۳۸۳/۰۴/۱۰	۴	۱۰	۱/۱
۱۳	۱۳۷۸/۰۸/۲۹	۴	۵/۷	۱/۲	۳۰	۱۳۸۴/۱۱/۲۸	۴	۱۷/۷	۲/۸
۱۴	۱۳۷۹/۱۱/۱۶	۸	۲۲/۷	۱/۴	۳۱	۱۳۸۴/۰۶/۰۸	۲	۱۵/۸	۲/۶
۱۵	۱۳۸۰/۰۶/۱۰	۲	۱۲/۴	۶	۳۲	۱۳۸۴/۰۲/۱۶	۶	۴۵/۸	۴/۳
۱۶	۱۳۸۰/۰۳/۰۴	۸	۲۱/۴	۱/۵۲	۳۳	۱۳۸۴/۰۲/۳۰	۸	۱۷/۳	۳
۱۷	۱۳۸۰/۰۲/۲۸	۴	۵/۴	۰/۵	-	-	-	-	-

روش تجربی نش: نش بر اساس مطالعات خود در برخی از حوزه‌های آبخیز انگلستان روابطی را پیشنهاد نمود. در این روش پارامترهای n وk ، با استفاده از خصوصیات حوزه آبخیز بر اساس روابط ۵ و ۶ برآورد می‌شود(۲).

$$n = ۲/۲۹ L^{۰/۱} \quad (۵)$$

$$k = \left(\frac{۱/۲ A^{۰/۳}}{L^{۰/۱} S^{۰/۳}} \right) \quad (۶)$$

که در آنها، طول آبراهه اصلی (کیلومتر)، A مساحت حوزه (کیلومترمربع)، S شیب حوزه و K بر حسب واحد ساعت به دست می‌آید.

روش ترسیمی هان: اگر مقادیر زمان تا اوج (tp)، دبی اوج (Qp) و حجم سیل(V) ، از هیدروگراف‌های مشاهداتی استخراج شوند، مقادیر n و k با استفاده از روابط ۷ تا ۹ قابل محاسبه است که می‌توان آن را با استفاده از نمودار ترسیمی Haan هم به دست آورد (۱۱).

$$\frac{tp}{k} = n - ۱ \quad , \quad n > ۱ \quad (۷)$$

$$\frac{Qptp}{V} = (n-۱)^n \exp(۱-n) / [k\Gamma(n)] \quad (۸)$$

www.SID.ir

$$\frac{Qptp}{V}=\frac{[\exp(1)/(tp/k)]^{-tp/k}}{\Gamma(tp/k)} \quad (۹)$$

روش زمان تا اوج- زمان تا عطف: در این روش دو پارامتر زمان تا اوج (tp) و زمان تا نقطه عطف هیدروگراف (ti) از هیدروگراف‌های جریان استخراج و سپس با استفاده از رابطه (۱۰) و (۱۱) مقادیر n و k حاصل می‌شود (۴).

$$n=\left(\frac{tp}{ti-tp}\right)^2+1 \quad (۱۰)$$

$$k=\frac{ti}{n-1+(n-1)^{0.5}} \quad (۱۱)$$

روش Bhunya و همکاران (۸ ، ۹) بر اساس تحقیقات خود در هندوستان، روابطی را برای محاسبه پارامترهای مدل نش پیشنهاد دادند که جزئیات این روش در روابط (۱۲) تا (۱۴) ارائه شده‌است.

$$k=\frac{tp}{n-1} \quad (۱۲)$$

(۱۳)

$$n=۵/۵۳\beta^{۱/۷۵}+۱/۰۴ \qquad ۰/۰۱<\beta<۰/۳۵$$

(۱۴)

$$n=۶/۲۹\beta^{۱/۹۹۸}+۱/۱۵۷ \qquad \beta\geq ۰/۳۵$$

که در آن β، فاکتور شکل هیدروگراف است و برابر حاصل‌ضرب دبی اوج و زمان تا اوج می‌باشد.

در این تحقیق، ۳۳ رویداد سیل و بارش متناظر انتخاب شد و پس از تفکیک دبی پایه به روش مستقیم، حجم رواناب، ارتفاع رواناب سطحی و شدت متوسط نفوذ (شاخص فی)، به منظور تعیین میزان بارش موثر برای هر رویداد محاسبه گردید (۱). نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی مربوط به حوزه آبخیز جعفرآباد، در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد و پارامترهای فیزیوگرافی مورد نیاز در محاسبه پارامترهای ورودی مدل نش استخراج گردید. پارامترهای n و k با روش‌های تشریح شده با استفاده از فاکتورهای فیزیوگرافی حوزه آبخیز و باران‌سنجی و هیدرومتری در ۳۳ رویداد برای حوزه آبخیز مورد مطالعه محاسبه شد و مقادیر n و k میانگین در هر روش تعیین گردید. سپس برای مقایسه روش‌ها و اعتبارسنجی آن‌ها ۴ رویداد سیل دیگر، غیر از ۳۳ رویدادی که قبلاً در تعیین n و k از آنها استفاده شده بود، انتخاب و مدل نش برای ۴ رویداد مذکور با استفاده از مقادیر n و k در روش‌های مختلف اجرا گردید. هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای برای حوزه آبخیز جعفرآباد برای هر روش تخمین پارامترهای n و k تهیه شد. سپس با در نظر گرفتن عدم یکنواختی توزیع زمانی بارش در هایتوگراف و تاخیر ضربان‌های بارش، هیدروگراف رواناب مستقیم شبیه‌سازی گردید. نتایج مدل با هیدروگراف‌های مستقیم رگبارهای انتخابی مورد مقایسه قرار گرفت. ارزیابی کارآیی مدل، معیارهای نش- ساتکلیف[۲] (رابطه ۱۵)، میزان خطای نسبی[۳] در دبی اوج (رابطه ۱۶)، میزان خطای نسبی در زمان تا اوج (رابطه ۱۷)، خطای برآورد حجم جریان (رابطه ۱۸) و مجموع مربعات باقیمانده‌ها[۴] (رابطه ۱۹)، مورد استفاده قرار گرفت (۱ ، ۶ و ۱۴).

$$C_{NS}=1-\sum_{i=1}^{n}(Q_{Si}-Q_{Oi})^2\Big/\sum_{i=1}^{n}(Q_{Oi}-\overline{Q_O})^2 \quad (۱۵)$$

$$\%RE_{QP}=100\left|\frac{Q_S(peak)-Q_O(peak)}{Q_O(peak)}\right| \quad (۱۶)$$

$$\%RE_{TP}=100\left|\frac{Tp_S-Tp_O}{Tp_O}\right| \quad (۱۷)$$

$$\%RE_V=\sum_{i=1}^{n}Q_{Si}\Big/\sum_{i=1}^{n}Q_{Oi}-1 \quad (۱۸)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{oi}-Q_{si})^2}{n}} \quad (۱۹)$$

که در آنها Q_{si} و Tp_s ، دبی و زمان تا اوج شبیه‌سازی شده و Qo_i و Qp_o، دبی و زمان تا اوج مشاهداتی، $\overline{Q_o}$ ، میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد مشاهدات هستند. در معیار نش- ساتکلیف، مقدار عددی یک نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است (۷). در معیارهای خطای نسبی در (دبی اوج، زمان تا اوج و حجم سیل) مقدار عددی صفر نشان دهنده برآورد دقیق و نیز هر چه مقدار مجموع مربعات باقیمانده‌ها کمتر باشد کارآیی مدل بالاتر خواهد بود (۱).

نتایج

همان طور که در اشاره شد از مقادیر پارامترهای به دست آمده از روش‌های مختلف در ۳۳ رویداد میانگین گرفته و مدل با استفاده از چهار رویداد متفاوت دیگر اجرا گردید. که نتایج محاسبه پارمترهای n و k ، به روش‌های مذکور در جدول ۲ ارائه شده‌است.

مقادیر n و k در روش تجربی Nash (۱۹۶۲)، که از مشخصات فیزیوگرافی حوزه آبخیز بدست آمده است با میانگین مقادیر سایر روش ها در جدول ۳ ارائه شده است.

لازم به ذکر است که در روش Bhunya و همکاران مقادیر و در جدول ۳ ارائه شده است ولی بعنوان یک روش نامناسب در منطقه مورد مطالعه معرفی شده و از ارائه نتایج آن بدلیل عدم امکان نمایش در شکل‌های ارائه شده، صرفنظر شده است.

شکل ۲ هیدروگراف خروجی از اولین مخزن خطی در مدل نش را برای سایر روش‌های مورد استفاده نمایش می‌دهد. در شکل ۳ هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای نش حوزه آبخیز جعفرآباد حاصل از روش‌های متفاوت تخمین مقادیر n و k ارائه شده است.

مقایسه ظاهری هیدروگراف‌ها و میانگین معیارهای ارزیابی در مرحله اعتبارسنجی را نشان می‌دهد که اجرای مدل نش با روش ممان و سعی و خطا نتایج مناسبتری نسبت به سایر روش ها ارائه می‌دهد.

نتایج ارزیابی کارآیی مدل نش در برآورد مشخصه‌های هیدروگراف جریان با معیارهای آماری و برآورد خطا، در جدول ۴ آمده است.

Archive of SID

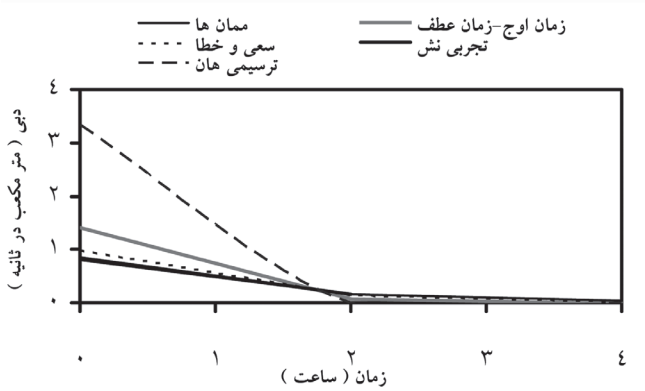
جدول ۲- مقادیر n و k به دست آمده از روش‌های مورد استفاده

شماره رویداد	ممان		ترسیمی هان		زمان اوج- زمان عطف		سعی و خطا		شماره رویداد	ممان		ترسیمی هان		زمان اوج- زمان عطف		سعی و خطا	
-	n	k	n	k	n	k	n	k	-	n	k	n	k	n	k	n	k
۱	۱۱	۰/۹۱	۵	۲	۷	۱/۶	۱۵	۰/۷	۱۸	۱۰	۱/۰۷	۳	۴	۲۶	۰/۴	۱۵	۰/۵
۲	۱۰	۱/۰۰	۱۰	۱/۱۱	۱۰	۱/۳۳	۱۵	۰/۷	۱۹	۱۰	۱/۸۷	۶	۲/۸	۶۵	۰/۲۵	۱۵	۱
۳	۱۲	۱/۰۳	۴	۳/۳۳	۳۷	۰/۳۳	۱۵	۰/۸۵	۲۰	۱۹	۱/۲۱	۲۰	۱/۱۶	۳۷	۰/۶۷	۱۵	۱/۱
۴	۲۵	۱/۲۳	۱۶	۲	۱۵	۲/۱۳	۱۵	۱/۰۱	۲۱	۲۰	۱/۱۴	۲۱	۱/۳	۵۰	۰/۵۷	۱۵	۱/۲
۵	۲۰	۰/۹۹	۵	۳	۶	۲/۵۷	۱۵	۰/۸۹	۲۲	۲۰	۰/۷۹	۴	۳/۳۳	۱۰	۱/۳۳	۱۵	۱/۲
۶	۱۴	۰/۸۰	۱۸	۰/۸۲	۶۵	۰/۲۵	۱۵	۱/۳	۲۳	۱۵	۱/۰۱	۷	۲	۱۳	۱/۱۴	۱۵	۰/۹
۷	۱۰	۲/۳۲	۲۰	۱/۳۷	۱۳	۲/۲۹	۱۵	۱/۲	۲۴	۱۴	۰/۹۶	۵	۲/۵	۳۷	۰/۳۳	۱۵	۱/۳
۸	۱۸	۰/۸۴	۱۹	۱	۲۶	۰/۸	۱۵	۱	۲۵	۱۶	۰/۸۲	۵	۳	۵۰	۰/۲۹	۱۵	۰/۹
۹	۲۴	۰/۸۵	۴	۵/۳۳	۱۰	۲	۱۵	۱/۲	۲۶	۱۹	۰/۹۹	۵	۳/۵	۶۵	۰/۲۵	۱۵	۱/۱
۱۰	۲۳	۰/۷۱	۲۱	۱/۱	۳۷	۰/۶۷	۱۵	۱/۱	۲۷	۲۰	۰/۷۷	۱۸	۰/۹۴	۲۱	۰/۸۹	۱۵	۱
۱۱	۱۷	۰/۸۴	۹	۱/۷۵	۶۵	۰/۲۵	۱۵	۱	۲۸	۴	۳/۱۸	۱۹	۰/۵۶	۳۷	۰/۳۳	۱۵	۰/۸
۱۲	۱۲	۱/۰۸	۴	۳/۳۳	۲۶	۰/۴	۱۵	۱/۰۲	۲۹	۱۲	۰/۸۹	۱۰	۱/۱۱	۱۰	۱/۳۳	۱۵	۰/۹
۱۳	۱۰	۰/۲۹	۲	۲	۱۷	۰/۵	۱۵	۱/۰۲	۳۰	۱۷	۰/۷۳	۶	۱/۶	۷	۱/۶	۱۵	۱/۲
۱۴	۲۲	۰/۸۳	۱۹	۱/۲۲	۳۷	۰/۶۷	۱۵	۱/۶	۳۱	۱۶	۰/۸۸	۲۱	۰/۷	۶۵	۰/۲۵	۱۵	۰/۹
۱۵	۱۳	۰/۸۸	۷	۱/۶۷	۳۷	۰/۳۳	۱۵	۱	۳۲	۱۷	۰/۵۵	۳	۳	۱۷	۰/۵	۱۵	۱
۱۶	۲۴	۰/۸۸	۴	۶	۱۲	۱/۸	۱۵	۱/۱	۳۳	۱۱	۱/۹۵	۲۱	۰/۹	۲۶	۰/۸	۱۵	۱
۱۷	۱۵	۰/۹۵	۱۳	۱/۱۷	۶۵	۰/۲۵	۱۵	۱/۰۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-

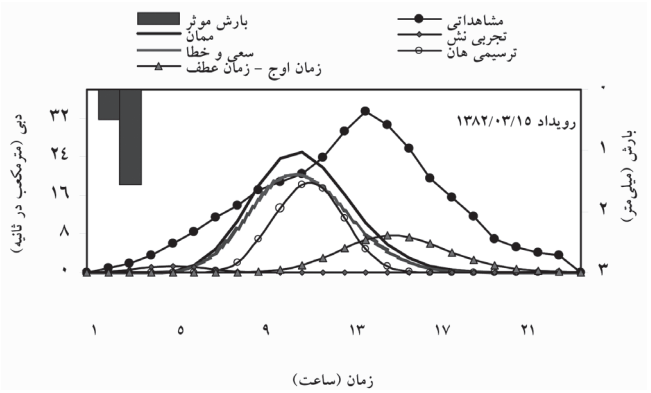
جدول۳ - مقادیر میانگین پارامترهای n و k در روش‌های مختلف

روش تخمین / پارامتر / میانگین پارامتر	ممان	سعی و خطا	زمان اوج- زمان عطف	ترسیمی هان	تجربی نش	روش بهونیا و همکاران
n	۱۵	۱۵	۳۱	۱۰	۳	۱۰۸۰۶۰۵
k	۱/۰۶	۱/۰۲۲	۰/۸۸	۲/۱۳	۱/۱۹	۰/۰۰۰۰۲

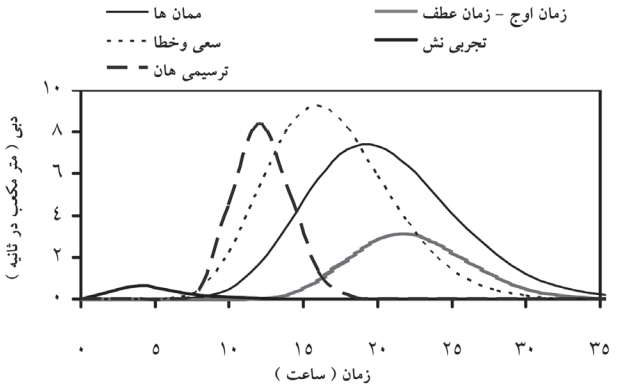
www.SID.ir



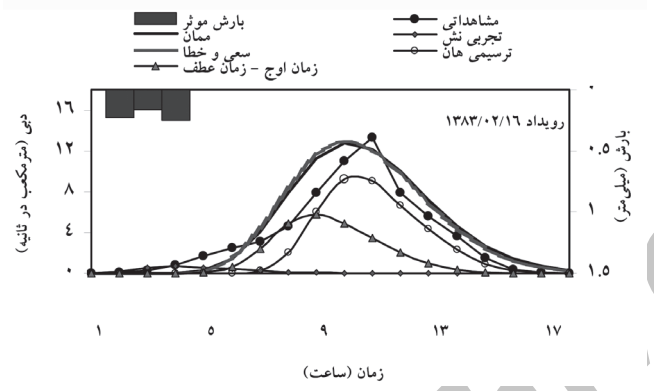
شکل۲ – هیدروگراف خروجی از اولین مخزن خطی
مدل نش در روش های مختلف تخمین مقادیر n و k



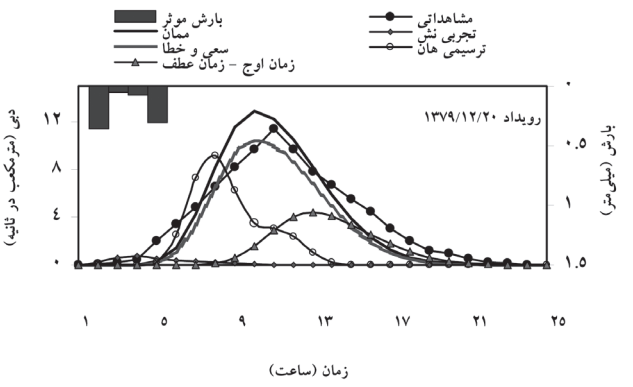
شکل۵ – هیدروگراف جریان مشاهداتی و
شبیه‌سازی شده برای رویداد مورخ ۱۳۸۲/۰۳/۱۵



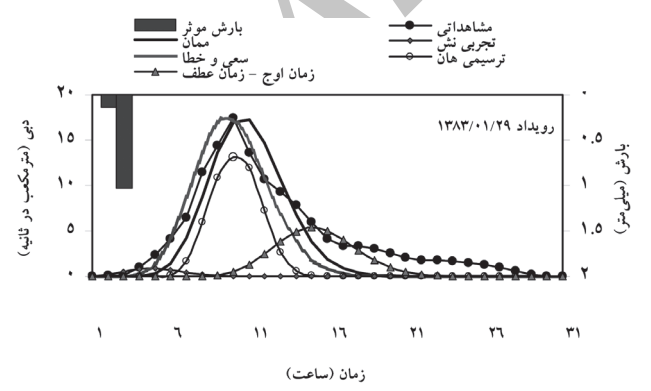
شکل۳ – هیدروگراف واحد لحظه‌ای مدل نش
در روش‌های مختلف تخمین مقادیر n و k



شکل۶ – هیدروگراف جریان مشاهداتی و
شبیه‌سازی شده برای رویداد مورخ ۱۳۸۳/۰۲/۱۶



شکل۴ –هیدروگراف جریان مشاهداتی و
شبیه‌سازی شده برای رویداد مورخ ۱۳۷۹/۱۲/۲۰



شکل۷ –هیدروگراف جریان مشاهداتی و
شبیه‌سازی شده برای رویداد مورخ ۱۳۸۳/۰۱/۲۹

Archive of SID

جدول ۴- مقادیر معیارهای کارآیی مدل نش با روش های مختلف تخمین پارامترهای و در مرحله اعتبارسنجی

	رویداد	نش-ساتکلیف	خطای‌نسبی زمان تا اوج(٪)	خطای‌نسبی دبی اوج(٪)	مجموع مربعات باقیمانده‌ها	خطای‌برآوردحجم‌جریان (٪)
ممان	۱۳۷۹/۱۲/۲۰	۰/۹۰	۱۰	۱۲/۷	۱/۴۱	۵/۹
	۱۳۸۲/۰۳/۱۵	۰/۳۴	۱۱	۲۵/۳۷	۱۰/۸۹	۵۴/۱۸
	۱۳۸۳/۰۲/۱۶	۰/۹۲	۹	۴/۰۱	۱/۵۳	۱۹/۴۹
	۱۳۸۳/۰۱/۲۹	۰/۸۶	۱۱	۰/۷۵	۱/۹۳	۲۳/۴۹
میانگین	-	۰/۷۶	۱۰/۲۵	۱۰/۷۱	۳/۹۴	۲۵/۷۷
تجربی نش	۱۳۷۹/۱۲/۲۰	-۱/۰۲	۲۶۶	۹۳/۷۸	۵/۱۲	۹۶/۵۴
	۱۳۸۲/۰۳/۱۵	-۱/۶۱	۱۵۰	۹۵/۹۶	۱۶/۴۳	۹۸/۳۱
	۱۳۸۳/۰۲/۱۶	-۰/۷۹	۲۳۳	۹۴/۹۷	۵/۲۸	۹۵/۶
	۱۳۸۳/۰۱/۲۹	-۰/۷۹	۱۵۰	۹۴/۸۴	۶/۳۳	۹۷/۱
میانگین	-	-۱/۰۵	۵۷/۱۴	۹۴/۹۰	۸/۲۹	۹۶/۸۹
ترسیمی هان	۱۳۷۹/۱۲/۲۰	-۰/۰۸	۵۷/۱۴	۱۹/۶۷	۳/۷۴	۵۹/۸۴
	۱۳۸۲/۰۳/۱۵	-۰/۶۵	۰	۴۵/۶۶	۱۳/۰۵	۷۵/۵۵
	۱۳۸۳/۰۲/۱۶	۰/۸	۹	۳۰/۴	۱/۷۴	۳۶/۲۴
	۱۳۸۳/۰۱/۲۹	۰/۵۲	۱۱	۲۴/۳۲	۳/۲۴	۵۹/۱
میانگین	-	۰/۱۵	۱۹/۲۹	۳۰/۰۱	۵/۴۴	۵۷/۶۸
سعی و خطا	۱۳۷۹/۱۲/۲۰	۰/۸۰	۲۲/۲	۸/۵۵	۱/۲۹	۲۳/۲۷
	۱۳۸۲/۰۳/۱۵	۰/۴۷	۰	۳۹	۱۱/۵۲	۶۲/۶۴
	۱۳۸۳/۰۲/۱۶	۰/۷۵	۱۱	۲/۹	۱/۵۹	۱۹/۴
	۱۳۸۳/۰۱/۲۹	۰/۸۲	۱۱	۰/۷۵	۱/۹۸	۲۳/۴۹
میانگین	-	۰/۷	۱۱/۰۵	۱۲/۸۰	۴/۱	۳۲/۲
زمان اوج- زمان عطف	۱۳۷۹/۱۲/۲۰	-۰/۰۹	۸/۳	۶۱/۵	۳/۷۶	۶۸/۸
	۱۳۸۲/۰۳/۱۵	-۰/۸۲	۲۸/۵	۷۷/۲	۱۳/۷۳	۸۴/۸۴
	۱۳۸۳/۰۲/۱۶	۰/۲۲	۲۵	۵۶/۶۷	۳/۴۶	۶۰/۴۷
	۱۳۸۳/۰۱/۲۹	-۰/۳۹	۲۸/۵	۶۹/۱۷	۵/۵۹	۷۴/۶۹
میانگین	-	-۰/۲۷	۲۲/۵۸	۶۶/۱۴	۶/۶۴	۷۲/۲

www.SID.ir

بحث و نتیجه گیری

استفاده از مدل ساده نش به عنوان یک تکنیک ایجاد آمار رواناب سطحی، از بارش‌های مختلف در حوزه‌های آبخیز بدون آمار و فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌تواند ابزار مفیدی در مطالعات هیدرولوژیک باشد (۱۲). بر اساس روش تحقیق، پس از تخمین پارامترهای n و k در مدل نش به روش‌های مختلف، به کمک این مدل هیدروگراف رواناب مستقیم در چهار رویداد شبیه‌سازی شده و کارآیی آن در هر روش مورد ارزیابی قرار گرفته است. عدم دقت در تعیین پارامترهای مدل نش اغلب باعث بروز خطا در هیدروگراف شبیه‌سازی شده می‌شود (۱۰). بر اساس نتایج جدول ۲ در روش‌های مختلف محاسبه پارامترهای n و k در مدل نش می‌توان مجموعه‌هایی از پارامترهای n و k را استفاده نمود که با نتایج Bardossy (۲۰۰۷)، مبنی بر ارائه مجموعه‌هایی از پارامترهای n و k مطابقت دارد. بر اساس نتایج ارزیابی کارآیی در جدول ۴، و مقایسه ظاهری در اشکال (۴ تا ۷)، روش ممان با مقدار معیار نش- ساتکلیف ۷۶ درصد و مقادیر پایین خطای نسبی (دبی اوج، زمان تا اوج و حجم سیل) و هم چنین مجموع مربعات باقیمانده‌ها، به عنوان مناسب ترین روش تخمین مقادیر ورودی مدل نش، معرفی می‌شود (۵). کارآیی روش ممان را می‌توان در استفاده همزمان از داده‌های بارش و رواناب در محاسبه مقادیر n و k دانست. این در حالی است که دونگ (۱۰)، کارآیی روش‌های الگوریتم ژنتیک و فرمول تقریبی در تخمین مقادیر n و k را بهتر از روش ممان دانسته است. باید توجه نمود که در استفاده از روش ممان میانگین خطای تقریبی ۲۵ درصدی در برآورد حجم مشاهده می‌شود، که می‌توان این خطا را با روش محاسبه بارش موثر و محاسبه آب پایه مرتبط دانست. قابل ذکر است که روش سعی و خطا نیز نتایج قابل قبولی می‌نماید. هم چنین روش ترسیمی هان نیز تا حدودی با داده‌های مشاهداتی مطابقت دارد. بر اساس نتایج استفاده از روش‌های زمان اوج- زمان عطف، تجربی نش (۱۹۶۲) و روش Bhunya و همکاران در تخمین مقادیر ورودی مدل نش در این تحقیق نتایج ضعیفی ارائه داده‌است که استفاده از آنها برای شرایط مشابه حوزه آبخیز مورد مطالعه در کشورمان بدون انجام تحقیقات بیشتر توصیه نمی‌شود. نتایج این مطالعه با نتایج تحقیق Singh و همکاران (۱۵)، که در استفاده از روش Bhunya و همکاران به نتایج مناسبی برای کشور هندوستان دست یافته‌اند هم خوانی ندارد که می‌توان تفاوت را در ضرایب ثابت روش مذکور برای محاسبه n جستجو کرد که در مناطق مختلف اعداد متفاوتی باید محاسبه گردد. در مجموع بر اساس نتایج تحقیق روش ممان به عنوان روش برتر در تخمین پارامترهای n و k پیشنهاد می‌گردد و برای حوزه آبخیز مورد مطالعه تعداد مخازن فرضی ، به میزان ۱۵ هر کدام با ضریب ذخیره یک ساعت مناسب می‌باشد. با توجه به نتایج مناسب مدل ساده نش در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان، برآورد منطقه‌ای مقادیر n و k با استفاده از داده‌های مشاهداتی به منظور تعمیم آن به مناطق فاقد آمار مشابه از نظر مساحت و خصوصیات فیزیوگرافی، خصوصاً در حوزه‌های آبخیز البرز شمالی پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کارشناسان محترم شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان آقای مهندس حسن فرازجو و خانم مهندس فاطمه مرادی به جهت همکاری صمیمانه در تهیه آمار هیدرومتری و باران‌سنجی تقدیر و تشکر می‌گردد.

پاورقی‌ها

1- Soil Conservation Service

2- Nash-Sutcliffe

3- Relative Error

4- Root Mean Squared Error

منابع مورد استفاده

۱- صادقی، س. ح. ر و دهقانی، م. (۱۳۸۵) دقت روش‌های تخمین ضریب ذخیره آبنمود واحد لحظه‌ای در بازسازی آبنمود واحد سیل، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۳ (۳): ۱۵۲ تا ۱۶۰.

۲- صفوی، ح، ر. (۱۳۸۵) هیدرولوژی مهندسی، انتشارات اردکان، ۶۲۰ ص.

۳-کارآموز، م و عراقی‌نژاد، ش. (۱۳۸۴) هیدرولوژی پیشرفته. انتشارت دانشگاه صنعتی امیر کبیر. ۴۶۵ ص.

۴- نجفی، م. ر. (۱۳۸۱) ترجمه سیستم‌های هیدرولوژیکی مدل‌سازی بارش- رواناب، وی پی سینگ، انتشارات دانشگاه تهران، دو جلد، ۱۰۵۶ ص.

5-Agirre, U., Goni, M., Lopez, J.J., and Gimena, F.N. (2005) Application of a unit hydrograph based on sub-watershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. *J. Catena*. 64:321–332.

6-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.

7-Bardossy, A. (2007) Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments. *J. Hydrol Earth Syst*. Sci. 11:703–710.

8-Bhunya, P.K., Mishra, S.K., and Berndtsson, R. (2003) Simplified two parameter gamma distributions for derivation of synthetic unit hydrograph. *J. Hydrol. Eng*. 8(4):226–230.

9-Bhunya, P.K., Mishra, S.K., Ojha, C.S.P., and Berndtsson, R. (2004) Parameter estimation of beta distribution for unit hydrograph derivation. *J. Hydrol. Eng*. 9(4):325–332.

10-Dong, S.H. (2007) Genetic algorithm based parameter estimation of Nash model. *J. Water Resour Manage*, DOI 10.1007/s11269-007-9208-6

11-Haan, C.T., Barfield, B.J., and Hayes, J.C. (1994) *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, San Diego, CA. 588p.

12-Kumar, R., Chatterjee, C., Lohani, A.K., Kumar, S., and Sing, R.D. (2002) Sensitivity analysis of the GIUH based Clark model for a catchment. *J. Water Resour Manage*. 16:263–278.

13-Najafi, M.R. 2003) Watershed modeling of rainfall excess transformation into runoff. *J. Hydrol*. 270:273–281

14-Sarangi, A., Madramootoo, C.A., Enright, P., and Prasher,

Archive of SID

S.O. (2007) Evaluation of three unit hydrograph models to predict the surface runoff from a Canadian watershed. *J. Water Resour Manage*. 21:1127–1143

15-Singh. P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K., and Chaube, U.C. (2007) An extended hybrid model for synthetic unit hydrograph derivation. *J. Hydrol*. 336:347– 360.

16-Szymkiewicz, R. (2002) An alternative IUH form the hydrological lumped models. *J. Hydrol*. 259:246-253.

Archive of SID

www.SID.ir