

مقایسه آبنمود واحد لحظه‌ای نش، ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد مشخصات هیدروگراف سیلاب

• فریبا زکی‌زاده

دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)

• حسین ملکی نژاد

دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

• محمدرضا اختصاصی

دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: شهریورماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: آذرماه ۱۳۹۳

Email: fariba_zakizadeh@yahoo.com

چکیده

از جمله کاربردهای مدل‌های بارش - رواناب، تعیین رفتار هیدرولوژیک حوزه آبخیز و شبیه‌سازی جریان برای طراحی سازه‌های آبی و بخصوص ارزیابی تأثیر عملیات اجرا شده بر رژیم جریان است. با توجه به مشکل کمبود و نقص آمار هیدرومتری در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور، نیاز به استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک ساده و مناسب و توسعه آن‌ها در حوزه‌های آبخیز فاقد ایستگاه از موارد ضروری است. در این زمینه روش‌های متعددی پیشنهاد شده است. تحقیق حاضر، با هدف مقایسه دقت، صحت و درجه اطمینان روش‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک و نش در برآورد مشخصات آبنمود رواناب خروجی حوزه آبخیز منشاد انجام شده است. به این منظور، شش واقعه رگبار و سیل متناظر، با به‌کارگیری آمار دبی و بارش منطقه تعیین شد. پس از محاسبه پارامترهای مورد نیاز روش‌های مورد تحقیق، شامل خصوصیات مورفومتریکی حوزه و ویژگی‌های سیلاب‌های انتخابی، آبنمود رواناب خروجی در هر روش، برای هر واقعه مشخص گردید. بررسی و ارزیابی هیدروگراف‌ها با به‌کارگیری شاخص‌های میانگین خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب نش ساتکلیف، موید کارایی بالاتر روش نش در برآورد دبی اوج، با درصد خطای ۲۳/۷۵، زمان تا اوج با درصد خطای ۲۸/۲۱ و شکل کامل هیدروگراف، با ضریب کارایی ۰/۴، نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. این روش در برآورد مقادیر واقعی حجم سیل نیز با درصد خطای ۹/۹۰، قابلیت بالایی داشته است. بنابراین روش نش در منطقه مورد مطالعه، نسبت به دو روش دیگر از کارایی بیشتری برخوردار است.

کلمات کلیدی: هیدروگراف واحد لحظه‌ای، مدل، جریان سطحی، نش، منشاد، دبی اوج، زمان اوج

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 107 pp: 2-11

Comparison of geomorphologic, geomorphoclimatic and nash instantaneous unit hydrograph in estimating outlet runoff hydrograph characteristics (Case study: Manshad watershed)

By: F. Zakizadeh, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran. (Corresponding Author).

H. Malekinezhad, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran. M. Ekhtesasi, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran.

Applications of rainfall-runoff models, are to determine the hydrologic behavior of watershed and to simulate the flow, for designing hydraulic structures and specially evaluating the impacts of operations on the flow regime. According to deficiency of hydrometer data in most of Iran's watersheds, using simple and convenient hydrologic models and developing them for watersheds without stations is essential. In this context, several methods have been proposed. This study has been compared the consistency, accuracy and reliability of geomorphologic, geomorphoclimatic and nash instantaneous unit hydrographs, in estimating outlet runoff hydrograph characteristics, in Manshad watershed. For this purpose, six storm events were chosen, by using the area's hydro-meteorological data. Then, the methods' needing parameters, including the area's morphometric characteristics and the events properties, were calculated. Thus, outlet runoff hydrographs, for each method were determined. Evaluations that have been carried out by using the mean relative error, the root mean square error and the Nash-Sutcliffe indices, confirmed the higher efficiency of Nash model, in estimating peak discharge, with an error of 23.75, time to peak with an error of 28.21 and the complete shape of hydrograph, with efficiency criterion of 0.4, than the other methods. In addition, this method has a high potential in simulating the actual amount of flood volume, with an error of 9.90. Thus, nash model, compared to other models (based on this study), is the most efficient model for estimating flood discharge.

Keywords: Instantaneous unit hydrograph, Model, Surface flow, Nash, Manshad, Peak discharge, Time to peak

مقدمه

داخل و خارج کشور انجام شده است. Heshmatpour و همکاران (۲۰۰۲)، در تحقیقی به بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک در برآورد دبی سیل با مدل‌های نش، روسو و SCS ۱ پرداختند. نتیجه این تحقیق نشان داد که روش ژئومورفولوژیک نسبت به سایر مدل‌ها از کارایی بالاتری برخوردار است. Bahrami (۲۰۰۷)، در ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتولوژی و نش، در حوزه‌های پیران، پاتاق و کنگیر به این نتیجه رسید که مدل‌های مذکور، فاقد کارایی لازم در پیش‌بینی دبی پیک و زمان تا پیک سیلاب‌ها هستند. Ghahraman و Lotfi (۲۰۱۰)، در حوزه آبخیز جنگ، به بررسی دقت و قابلیت اعتماد برخی از مدل‌های باران-رواناب شامل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، نش، روسو و هیدروگراف واحد SCS، در تعیین خصوصیات هیدروگراف سیلاب در حوزه‌های فاقد آمار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در برآورد مشخصات مهم سیلاب شامل دبی اوج، زمان اوج و حجم سیلاب، در مجموع روش ژئومورفولوژیک برترین روش می‌باشد. روش ژئومورفوکلیماتیک با اختلاف قابل توجه، در رتبه دوم قرار دارد. روش‌های نش و روسو در رتبه سوم قرار گرفته‌اند و در آخر روش SCS در رتبه چهارم می‌باشد. Mohammadi و Ahmadi (۲۰۱۱)، در پژوهشی تحت عنوان ارایه مدل برآورد دبی حداکثر

در هیدرولوژی پیش‌بینی کمی چگونگی فرایند بارش - رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی و در نهایت تعیین میزان دبی عبوری در مقطع کنترلی از اهداف مهم است. این مهم در طراحی سازه‌های آبی و برنامه‌ریزی به‌منظور کنترل سیل ضروری است (Heshmatpour و همکاران، ۲۰۰۲). انواع متعددی از مدل‌های بارش - رواناب توسط محققان مختلفی بررسی شده‌اند. با این وجود روش‌های مبتنی بر تئوری هیدروگراف واحد هنوز به‌عنوان یکی از رایج‌ترین ابزارها برای هیدرولوژیست‌ها جهت برآورد سیلاب در حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود (Asady و همکاران، ۲۰۱۱). هیدروگراف واحد را می‌توان از داده‌های بارش - رواناب و به شکل طبیعی استخراج کرد. یکی از مشکلات اساسی در زمینه تعیین هیدروگراف سیلاب، نبود داده‌های هیدرولوژی و اقلیمی در اغلب حوزه‌های آبخیز کشور است، بنابراین لازم است برای به دست آوردن هیدروگراف سیلاب در حوزه‌های فاقد آمار، از روش‌های مناسب دیگری استفاده نمود (Khaleghi و همکاران، ۲۰۱۰). روش‌های مختلفی برای تهیه هیدروگراف‌های مصنوعی پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های اشنایدر، هیدروگراف واحد مثلثی، روش اداره حفاظت خاک آمریکا و هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای اشاره کرد (Nagmaili، ۱۹۸۹). در زمینه بررسی کارایی این روش‌ها، پژوهش‌های مختلفی در

شده و یکی از زیرحوزه‌های آبخیز میانکوه است. این حوزه با مساحتی بالغ بر ۶۰۱۰ هکتار دارای مختصات جغرافیایی $56^{\circ} 9' 54''$ تا $16^{\circ} 16' 54''$ طول شرقی و $28^{\circ} 31'$ تا $35^{\circ} 42'$ عرض شمالی است. حداکثر ارتفاع حوزه ۳۶۵۰ متر در قسمت جنوب شرقی و حداقل آن ۱۹۷۰ متر در قسمت شمال شرقی می‌باشد. بخش اعظم آبراهه‌ها از قسمت جنوب و جنوب شرقی حوزه سرچشمه گرفته که پس از الحاق به یکدیگر و تشکیل آبراهه اصلی به طول ۱۴/۵۴ کیلومتر با درجه پنج از حوزه خارج می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، دمای متوسط سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد و بارش متوسط ۳۰۰/۸۶ میلی‌متر در سال می‌باشد (Zakizadeh, ۲۰۱۳).

روش تحقیق

مراحل کلی انجام این پژوهش، به طور خلاصه در ذیل آمده است. در ادامه نیز، روش انجام تحقیق به طور کامل تشریح گردیده است.

- جمع‌آوری اطلاعات پایه و محاسبه کمیت‌های مورفومتریک حوزه.
- جمع‌آوری داده‌های بارش و رواناب، گزینش شش واقعه سیلاب منفرد و تعیین هایتوگراف بارش مازاد وقایع به روش SCS.
- برآورد سرعت اوج جریان در وقایع انتخابی.
- تعیین هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک و نش برای وقایع انتخابی.
- استخراج هیدروگراف واحد از هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای و سپس تعیین هیدروگراف جریان سطحی وقایع در روش‌های مختلف.
- مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی وقایع به منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها.

۱- به منظور شناخت خصوصیات حوزه، کمیت‌های مورفومتریک شامل محیط، مساحت، شیب متوسط حوزه و طول آبراهه اصلی، با استفاده از نرم افزار Arc GIS/۳، محاسبه شد. همچنین در محیط این نرم افزار، نقشه شبکه آبراهه‌های حوزه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر Google earth منطقه تکمیل و طبق سیستم استراهرل رتبه‌بندی شد، پس از آن تعداد، طول و مساحت حوزه آبخیز آبراهه‌های هر رده به منظور محاسبه نسبت‌های هورتونی مانند نسبت مساحت، نسبت انشعاب و نسبت طول تعیین گردید (جدول ۱ و ۲).

۲- شش واقعه سیلاب منفرد (دارای بارش متناظر با دبی مشاهده‌ای) که نسبت به بقیه سیلاب‌ها از دقت و صحت بالاتری برخوردار بوده و در شرایط برفی نبوده است، تعیین گردید. سپس دبی پایه را به روش خط مستقیم از هیدروگراف‌ها جدا نموده و ارتفاع رواناب مستقیم برای هر سیلاب مشخص گردید. در نهایت هایتوگراف بارش مازاد در هر واقعه به روش SCS تعیین شد (جدول ۳).

۳- برآورد سرعت اوج جریان: بیشتر حجم رواناب ناشی از یک رگبار، در محدوده سرعت اوج جریان از خروجی حوزه عبور می‌کند (Rodriguez-Iturbe, ۱۹۸۲). برای برآورد سرعت اوج جریان در وقایع انتخابی از روش استدلالی (رابطه ۱) ارائه شده Rodriguez-Iturbe (۱۹۸۲) و فرمول توانی (رابطه ۲) استفاده شد:

لحظه‌ای در حوزه‌های فاقد آمار مبتنی بر مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، اشناید، SCS و مثلثی در حوزه آبخیز کن (رودخانه سولقان)، به این نتیجه رسیدند که به ترتیب مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، اشناید، SCS و مثلثی دارای بهترین برآورد از دبی حداکثر لحظه‌ای بوده‌اند. Moghali و Khalilzadeh (۲۰۱۲)، در پژوهشی در حوزه رودخانه وربند در جنوب استان فارس، به بررسی کارایی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک در مقایسه با روش‌های هیدروگراف واحد اشناید، SCS و مثلثی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک در مقایسه با سایر روش‌ها از کارایی بیشتری برخوردار است. آن‌ها همچنین روش مذکور را به عنوان ابزاری مناسب در مدل‌سازی بارش رواناب در حوزه‌های فاقد آمار دانستند. مطالعات صورت گرفته در حوزه اکسولا ۲ توسط Agirre و همکاران (۲۰۰۵) در اسپانیای شمالی، نشان می‌دهد که مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیک و مدل نش چه از نظر دبی اوج و چه از نظر زمان رسیدن به دبی اوج با داده‌های آماری تطابق خوبی دارند. Bhadra و همکاران (۲۰۰۸)، در منطقه اتارانچال ۳ واقع در هندوستان، در تحقیقی تحت‌عنوان توسعه یک مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی برای حوزه‌های آبخیز فاقد ایستگاه هیدرومتری، اقدام به ارزیابی مدل GIUH در منطقه نموده و نتیجه کار را بسیار رضایتبخش اعلام کردند. Ghumman و همکاران (۲۰۱۱)، در پژوهشی در حوزه آبخیز کاهادر پاکستان، با کاربرد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک بر مبنای مدل نش (GIUH-Nash) به این نتیجه رسیدند که کارایی مدل مذکور در این منطقه خشک/ نیمه‌خشک، بالای ۹۰٪ است. بدین ترتیب اظهار داشتند که می‌توان تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک (GIUH) را برای حوزه‌های بزرگ در مناطق خشک تا نیمه‌خشک به کاربرد. Choudhury و Nongthombam (۲۰۱۲)، در پژوهشی در دو حوزه آبخیز مادهارا ۴ و گاگرا ۵ در کشور هندوستان، به مقایسه روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و روش هیدروگراف واحد SCS، پرداختند. در این تحقیق و در روش SCS تنها از ویژگی‌های شیب و طول حوزه به منظور برآورد زمان تمرکز (با صرف نظر کردن از وضعیت کاربری اراضی) استفاده گردیده است. نتایج به دست آمده حاکی از کارایی مشابه دو روش مذکور می‌باشد.

از انواع هیدروگراف‌های واحد مصنوعی، مقایسه دقت، صحت و درجه اطمینان روش‌های آبنمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک و نش در برآورد مشخصات آبنمود رواناب خروجی، هدف و بستر تحقیق حاضر قرار گرفته است. نتایج می‌تواند برای توسعه کاربرد این مدل‌ها در اهداف تحقیقاتی، برنامه‌ریزی و برآورد رفتار هیدروولوژیکی حوزه‌های آبخیز، به منظور مدیریت سیلاب مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز منشاد از نظر تقسیمات کشوری جز استان یزد محسوب

و مقدار ضریب همبستگی تعیین شد. چون سرعت جریان در پیک سیلاب برای محاسبه دبی اوج و زمان تا اوج نیاز است، مقادیر دبی اوج هیدروگراف مشاهده‌ای استخراج و با قرار دادن در معادله، سرعت در دبی اوج هر رگبار، تعیین شده است. همچنین پارامتر موج جنبشی $\Omega\alpha$ را می‌توان با ایجاد رابطه بین دبی جریان و سطح مقطع خیس شده، بدون استفاده از رابطه ۳ و مقدار n به دست آورد (Heshmatpour و همکاران، ۲۰۰۲):

$$Q = a_{\Omega} \times A^m \quad m = \frac{5}{3} \quad (4)$$

در حوزه آبخیز منشاد روابط استدلالی و توانی ارائه شده به منظور برآورد سرعت اوج جریان را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$V_{\Omega} = (1.1957)^{0.6} Q^{0.4} \quad (5)$$

$$V_{\Omega} = 1.0026Q^{0.4144} \quad (6)$$

که در آن V_{Ω} سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه) و Q دبی اوج جریان (مترمکعب بر ثانیه) است. بر این اساس سرعت‌های اوج برای وقایع انتخابی مطابق جدول ۴ محاسبه شده است.

$$V_{\Omega} = a_{\Omega}^{0.6} (i_r A_{\Omega})^{0.4} \quad (1)$$

$$V_{\Omega} = mQ^n \quad (2)$$

$$a_{\Omega} = \frac{\sqrt{S}}{n\sqrt{P^s}} \quad (3)$$

v_{Ω} سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه)، Q دبی اوج سیلاب (مترمکعب بر ثانیه)، A_{Ω} مساحت حوزه (کیلومترمربع)، i_r شدت بارش مازاد (متر بر ثانیه)، $\Omega\alpha$ پارامتر موج جنبشی (، S شیب آبراهه اصلی (متر به کیلومتر)، n متوسط ضریب زبری مانینگ و P محیط خیس شده به متر می‌باشد.

اصولاً در تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک از رابطه توانی و در تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک، از رابطه استدلالی Rodriguez-Iturbe برای برآورد سرعت اوج استفاده می‌شود (Lotfi و Ghahraman، ۲۰۱۰). در رابطه توانی به منظور تعیین مقادیر m و n ، آمار مربوط به دبی و سرعت جریان اندازه گیری شده برای هر سال جمع‌آوری گردید، سپس روی محور لگاریتمی X مقادیر دبی و محور لگاریتمی Y مقادیر سرعت جریان رسم و بهترین خط برازش با استفاده از برنامه کامپیوتری Excell ترسیم گردید. بدین ترتیب معادله توانی موردنظر، پارامترهای رابطه

جدول ۱- تعداد، طول و سطح بالادست هر یک از رتبه‌های آبراهه‌ای حوزه

رتبه آبراهه	تعداد آبراهه	طول آبراهه (Km)	متوسط طول آبراهه (Km)	مساحت آبخیز بالادست آبراهه (Km ²)	متوسط مساحت آبخیز بالادست آبراهه (Km ²)
۱	۶۶۸	۲۴۲/۰۳	۰/۳۶	۴۲/۹۶	۰/۰۶
۲	۱۳۷	۶۱/۲۵	۰/۴۵	۳۵/۸۲	۰/۲۶
۳	۳۳	۳۳/۱۰	۱/۰۰	۳۴/۰۱	۱/۰۳
۴	۸	۲۰/۸۷	۲/۶۱	۴۳/۶۴	۵/۴۶
۵	۱	۹/۲۳	۹/۲۳	۶۰/۱۱	۶۰/۱۱

جدول ۲- کمیت‌های مورفومتری حوزه آبخیز منشاد

نسبت انشعاب	نسبت طول	نسبت مساحت
۵/۲۹	۲/۴۰	۶/۰۹

جدول ۳- ویژگی‌های سیلاب‌های انتخابی برای تجزیه و تحلیل

تاریخ سیلاب	مقدار بارش اولیه	طول آبراهه (Km)	متوسط طول آبراهه (Km)
(میلیمتر)	مقدار بارش موثر	۲۴۲/۰۳	۰/۳۶
(میلیمتر)	مدت تداوم بارش موثر (ساعت)	۶۱/۲۵	۰/۴۵
۸۲/۹/۱۵	۱۳۴/۸	۲/۵	۵/۵
۸۲/۱۰/۱۸-۱۹	۷۵/۶	۸/۵۷	۱۱/۵
۸۵/۱۲/۲۴	۱۱/۵	۰/۶	۱/۷۵
۸۶/۱/۷-۹	۱۳۲/۷	۱۳	۱۷/۲۵
۸۶/۱/۱۳-۱۴	۴۶/۲	۱۰/۸	۹/۲۵

جدول ۴- برآورد سرعت اوج جریان با روابط استدلالی و توانی برای وقایع انتخابی

سرعت اوج جریان در وقایع انتخابی (متر بر ثانیه)		دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	تاریخ سیلاب
بر اساس رابطه استدلالی	بر اساس رابطه توانی		
۲/۵۹	۲/۴	۸/۲۲	۸۲/۹/۱۵
۲/۸۱	۲/۶۱	۱۰/۱	۸۲/۱۰/۱۸-۱۹
۱/۱۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۸۵/۱۲/۲۴
۴/۰۸	۳/۸۵	۲۵/۷	۸۶/۱/۷-۹
۳/۸۰	۳/۵۸	۲۱/۵	۸۶/۱/۱۳-۱۴
۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۷۵	۸۸/۱۲/۷

هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتی داشته و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Pi_i = \frac{L_{\Omega}^{2.5}}{i_p \cdot A_{\Omega} \cdot R_L \cdot a_{\Omega}^{1.5}} \quad (12)$$

در این رابطه L_{Ω} طول آبرهه با بزرگترین رتبه (کیلومتر)، i_r شدت بارش موثر (سانتی متر بر ساعت)، A_{Ω} مساحت حوزه آبریز (کیلومترمربع)، R_L نسبت طول هورتون و Ωa پارامتر موج جنبشی با واحد) است (Rodriguez-Iturbe و همکاران، ۱۹۸۲).

هیدروگراف واحد لحظه‌ای نش - بر اساس مفهوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای، نش در سال ۱۹۵۹ روشی ارائه نمود که به روش مخزن خطی شناخته شده است. او حوزه آبخیز را به عنوان یک سیستم با n منبع خطی سری با مشخصات ذخیره S و ثابت ذخیره K معرفی کرد. نامبرده آبنمود واحد لحظه‌ای را بر اساس روندیابی لحظه‌ای جریان ورودی در مخازن خطی فرضی به صورت زیر ارائه کرد:

$$O_n = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \quad (13)$$

مقادیر n و k از روش گشتاورهای اول و دوم بارش موثر و رواناب مستقیم، محاسبه می‌شود. روش گشتاورها به صورت رابطه‌های زیر بیان می‌شود:

$$MDRH_1 - MERH_1 = n.k \quad (14)$$

$$MDRH_2 - MERH_2 = n(n+1)K^2 + 2nk(MERH_1)$$

که در آن n و k به ترتیب گشتاور اول هیدروگراف رواناب خروجی و هایتوگراف بارش مازاد و n و k به ترتیب گشتاور دوم هیدروگراف رواناب خروجی و هایتوگراف بارش مازاد هستند (جدول ۵).

۴- تعیین هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای برای وقایع انتخابی - هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک - Rodriguez - Iturbe و Valdes (۱۹۷۹) به منظور تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک روابط زیر را ارائه دادند:

$$q_p = \frac{1.3LR_L^{0.48}}{L_{\Omega}} (V) \quad (7)$$

$$t_p = 0.44L_{\Omega} \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55} R_L^{-0.38} (V^{-1}) \quad (8)$$

۹) $q_p \times t_b = 2$ در روابط فوق q_p دبی اوج (بر ساعت)، t_p زمان اوج (ساعت)، L_{Ω} طول رودخانه با بیشترین رتبه در حوزه آبریز (کیلومتر)، V سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه)، R_B ، R_A ، R_L به ترتیب نسبت انشعاب، نسبت مساحت و نسبت طول می‌باشند.

هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک - Rodriguez-Iturbe و همکاران (۱۹۸۲) با قبول پایه‌های اصلی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک، سرعت اوج جریان را که تابعی از شدت و مدت باران است، از روابط حذف و شدت و مدت باران را در روابط منظور نمودند و تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک را ارائه دادند (Heshmatpour و همکاران، ۲۰۰۲؛ Ghahraman و Lotfi، ۲۰۱۰). برای محاسبه دبی اوج و زمان اوج در این مدل روابط ذیل ارائه گردید:

$$q_p = 1.971 \Pi^{-0.4} \quad (10)$$

$$t_p = 0.2587 \Pi_i^{0.4} \quad (11)$$

q_p دبی اوج (بر ساعت)، t_p زمان اوج (ساعت) است. Π_i پارامتر ژئومورفوکلیماتیک است که به عنوان تابعی از اقلیم (شدت و مدت بارش موثر) و ژئومورفولوژی حوزه، نقش اساسی در ویژگی‌های

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده n و k در روش نش برای سیلاب‌های انتخابی

تاریخ سیلاب	n	k
۸۲/۹/۱۵	۵/۱۹	۰/۸۴
۸۲/۱۰/۱۸-۱۹	۲/۵۳	۶/۲
۸۵/۱۲/۲۴	۵/۰۲	۲/۱۰
۸۶/۱/۷-۹	۰/۴۶	۱۵/۹۴
۸۶/۱/۱۳-۱۴	۱۱/۰۸	۱/۵۴

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ei})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^2} \quad (18)$$

که در آن XO مقدار مشاهده شده پارامتر، Xe مقدار محاسبه شده پارامتر، RE خطای نسبی در هر برآورد (درصد)، n تعداد برآورد، MRE میانگین خطای نسبی (درصد)، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، NS ضریب نش ساتکلیف، Qoi مقدار مشاهده شده دبی سیل، Qei مقدار برآورد شده دبی سیل و میانگین داده‌های مشاهده شده دبی سیل و n شماره‌ای از مقادیر دبی می‌باشد. هرچه مقدار معیار نش ساتکلیف به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل می‌باشد به علاوه مقدار یک نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی است. همچنین بهترین شبیه‌سازی متعلق به روشی است که مقدار کوچکتری از RMSE و MRE را ارائه نماید.

نتایج

در شکل ۱ تا ۶ آبنمود مشاهده‌ای و محاسبه‌ای به روش‌های اشاره شده، برای رگبارهای انتخابی آورده شده است. همچنین مقادیر معیارهای ارزیابی کارایی روش‌های مختلف برای رگبارهای انتخابی، در جدول ۶ آورده شده است. مقایسه میانگین خطای نسبی نشان می‌دهد که از میان سه روش مصنوعی تهیه هیدروگراف، روش نش، بهترین برآورد را از دبی اوج داشته است. همچنین بیشترین خطا در برآورد مقادیر دبی اوج مربوط به روش ژئومورفولوژیک می‌باشد. روش ژئومورفولوژیک نیز در رده دوم به لحاظ میزان دقت در برآورد دبی اوج هیدروگراف سیلاب قرار می‌گیرد.

نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که در برآورد زمان تا اوج، روش ژئومورفولوژیک کمترین دقت را داشته است. به علاوه کمترین میزان خطا در این برآورد، مربوط به روش نش می‌باشد. میانگین خطای نسبی روش‌ها در برآورد زمان پایه سیل نشان می‌دهد که روش‌های ژئومورفولوژیک و نش (با اختلاف ناچیز ۰/۳ درصدی) در رده اول و دوم و روش ژئومورفولوژیک با بیشترین میزان خطا، در رده سوم به لحاظ میزان دقت در برآورد این پارامتر قرار می‌گیرند.

۵- استخراج هیدروگراف واحد از هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای پس از اینکه آبنمود واحد لحظه‌ای یک ساعته روش‌های مختلف بر حسب عکس زمان (برساعت)، برای رگبارهای انتخابی، و به کمک برنامه کامپیوتری Excell، محاسبه شد. یک بار به اندازه یک ساعت در ابعاد هیدروگراف‌ها تاخیر داده شد و عمل میانگین‌گیری انجام گرفت. بدین ترتیب ابعاد هیدروگراف واحد یک ساعته وقایع انتخابی به‌دست آمد (Mirbagheri, ۱۹۹۸). ابعاد هیدروگراف‌های واحد به‌دست آمده بر حسب عکس زمان (برساعت) است. جهت تعیین ابعاد هیدروگراف‌های واحد بر حسب مترمکعب بر ثانیه از رابطه ذیل استفاده گردید:

$$U_{(t)} = \frac{U_{(n)} \cdot Pe \cdot A}{3600} \quad (15)$$

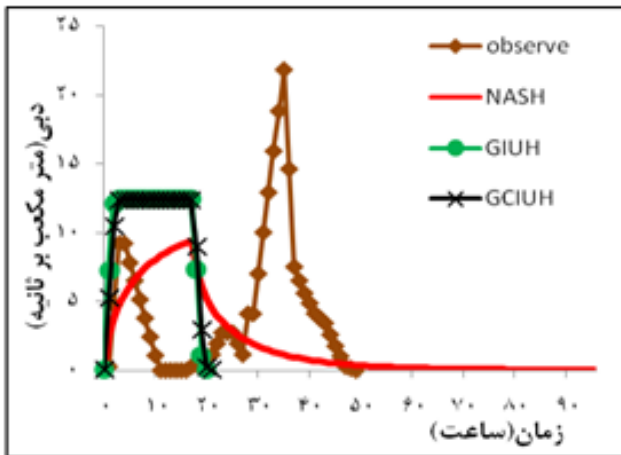
$U_{(t)}$ مقدار هیدروگراف واحد در زمان t (برساعت) در روش‌های مختلف، A مساحت حوزه به مترمربع، Pe ارتفاع بارش‌مازاد (متر)، $U(t)$ مقدار هیدروگراف واحد در زمان t (مترمکعب بر ثانیه). ضمناً آبنمود جریان سطحی وقایع انتخابی با در دست داشتن آبنمود واحد یک ساعته و با به‌کارگیری روش‌های تاخیری و هیدروگراف مجموع، همچنین با توجه به مقدار بارش‌مازاد هر واقعه به دست آمد.

۶- ارزیابی کارایی مدل‌ها

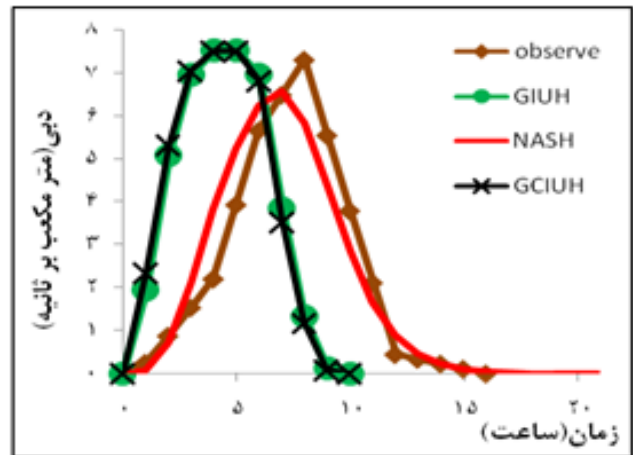
به‌منظور بررسی میزان کارایی آبنمودهای استخراجی از روش‌های مورد تحقیق، از شاخص آماری میانگین خطای نسبی RE ، برای مقایسه دبی اوج، زمان اوج، زمان پایه و حجم جریان سطحی استفاده شد. سپس برای مقایسه نظیر به نظیر مختصات آبنمودهای برآوردی و مشاهده‌ای، از ضریب نش ساتکلیف NS و مجذور میانگین مربعات خطا $RMSE$ استفاده گردید:

$$RE = \left| \frac{X_0 - X_e}{X_0} \right| \times 100 \quad MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RE_i \quad (16)$$

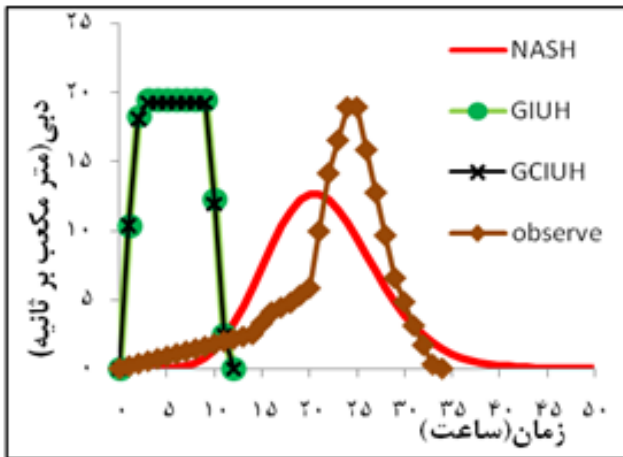
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{\hat{e}} - X_e)^2}{n}} \quad (17)$$



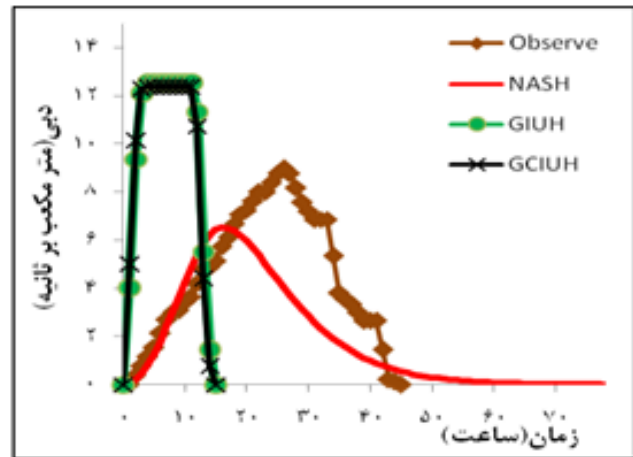
شکل ۴- مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مورخه ۸۶/۱۱/۹



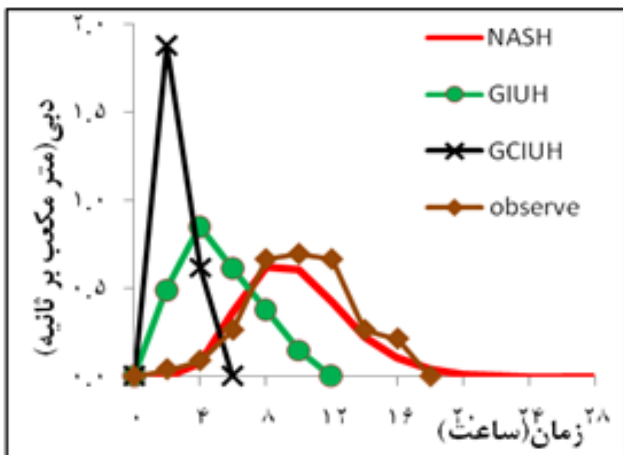
شکل ۱- مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مورخه ۸۲/۹/۱۵



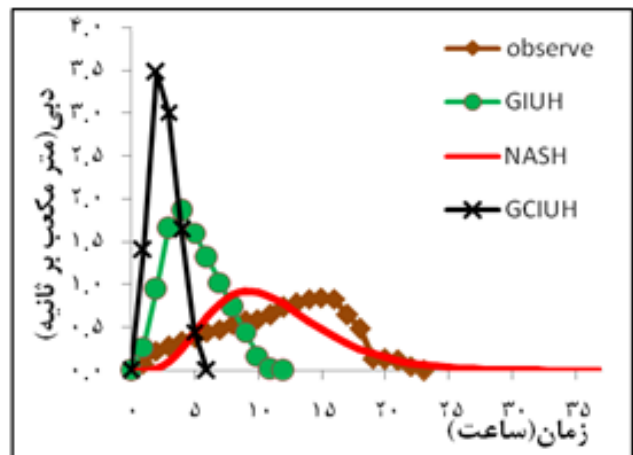
شکل ۵- مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مورخه ۸۶/۱۱/۱۳-۱۴



شکل ۲- مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مورخه ۸۲/۱۰/۱۸-۱۹



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مورخه ۸۸/۱۲/۷



شکل ۳- مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مورخه ۸۵/۱۲/۲۴

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده n و k در روش نش برای سیلاب‌های انتخابی

رویداد	نش ساتکلیف	مجدورمربعات باقیماتدها	خطای نسبی زمان تا اوج	خطای نسبی دبی اوج	خطای نسبی حجم جریان	خطای نسبی زمان پایه	روش
۸۲/۹/۱۵	-۰/۸۰	۳/۳۱	۵۰	۲/۶۸	۱/۰۳	۴۰/۶۳	ژئومورفولوژیک
۸۲/۱۰/۱۹	-۵/۱۲	۶/۹۸	۸۶/۵۴	۳۹/۸۲	۲۹/۴۷	۶۶/۶۷	
۸۵/۱۲/۲۴	-۵/۳۹	۰/۷۱	۷۵	۱۱۹/۷۹	۲/۰۶	۵۷/۴۱	
۸۶/۱/۷-۹	-۱/۷۶	۸/۴۲	۹۳/۵۷	۴۳/۰۲	۱/۴۷	۶۰/۲۰	
۸۶/۱/۱۳-۱۴	-۳/۴۱	۱۱/۸۸	۸۹/۵۸	۲/۸۹	۰/۳۹	۶۵/۴۴	
۸۸/۱۲/۷	-۱/۵۵	۰/۴۳	۶۲/۵	۲۵/۹۸	۱۳/۹۱	۳۴/۷۲	
-	-۳/۰۱	۵/۲۹	۷۶/۲۰	۳۹/۰۳	۸/۰۵	۵۴/۱۸	میانگین
۸۲/۹/۱۵	-۰/۹۰	۰/۶۷	۱۵/۶۳	۹/۱۰	۰/۹۸	۲۸/۱۳	نش
۸۲/۱۰/۱۹	-۰/۲۵	۱/۸۷	۳۷/۵	۲۷/۱۵	۲۹/۲۰	۷۲/۷۸	
۸۵/۱۲/۲۴	-۰/۵۳	۰/۱۸	۳۸/۳۳	۸/۶۶	۲/۳۶	۳۵/۱۹	
۸۶/۱/۷-۹	-۰/۸۱	۴/۹۰	۵۰/۷۱	۵۶/۷۷	۱۲/۸۶	۹۴/۹۰	
۸۶/۱/۱۳-۱۴	-۰/۵۱	۳/۲۹	۱۴/۵۸	۳۳/۱۲	۰/۲۷	۴۷/۰۶	
۸۸/۱۲/۷	-۰/۸۷	۰/۰۸	۱۲/۵	۶/۷۸	۱۳/۷۳	۴۷/۲۲	
-	-۰/۳۷	۱/۸۳	۲۸/۲۱	۲۳/۷۵	۹/۹۰	۵۴/۲۱	میانگین
۸۲/۹/۱۵	-۰/۸۶	۳/۳۷	۵۳/۱۳	۲/۶۳	۰/۹۸	۴۲/۱۹	ژئومورفوکلیماتیک
۸۲/۱۰/۱۹	-۵/۱۲	۶/۹۷	۸۷/۵	۳۷/۹۹	۳۰/۳۹	۶۷/۲۲	
۸۵/۱۲/۲۴	-۱۳/۵۹	۱/۰۷	۸۵	۳۲۶/۲۴	۲/۴۰	۷۷/۷۸	
۸۶/۱/۷-۹	-۱/۷۳	۸/۳۸	۹۱/۴۳	۴۳/۳۲	۱/۹۹	۵۸/۶۷	
۸۶/۱/۱۳-۱۴	-۳/۳۴	۱۱/۷۸	۸۹/۵۸	۱/۵۰	۰/۹۷	۶۵/۴۴	
۸۸/۱۲/۷	-۶/۱۹	۰/۷۲	۸۲/۵	۱۷۹/۱۷	۱۳/۷۶	۶۹/۴۴	
-	-۵/۱۴	۵/۳۸	۸۱/۵۲	۹۸/۴۸	۸/۴۲	۶۳/۴۶	میانگین

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که در برآورد دبی اوج هیدروگراف سیلاب، روش نش با درصد خطای پایین (۲۳/۷۵ درصد)، بهترین عملکرد را نسبت به سایر روش‌ها دارد. که با نتایج Agirre (۲۰۰۵) و Adib (۲۰۱۰)، مبنی بر گزارش دقت این روش در برآورد این ویژگی، مطابقت دارد. روش ژئومورفولوژیک نیز کارایی نسبتاً مناسبی در شبیه‌سازی مقادیر واقعی دبی اوج، داشته‌است. Ghiasi (۲۰۰۵) و Mahmudi (۲۰۰۷) نیز در مطالعاتی که به ترتیب در حوزه آبخیز کسلیان و کنگیر (ایوان غرب) انجام دادند، کارایی روش GIUH را در برآورد دبی پیک هیدروگراف، نسبتاً مناسب ارزیابی کردند. همچنین روش ژئومورفوکلیماتیک در منطقه مورد مطالعه، فاقد کارایی لازم در

با توجه به جدول ۶ ملاحظه می‌گردد که میانگین خطای نسبی روش‌ها، در برآورد حجم سیل، کمتر از ۱۲ درصد است که این نشان‌دهنده قابلیت بالای روش‌های مذکور در پیش‌بینی این پارامتر مهم می‌باشد.

مقادیر میانگین ضریب کارایی نش ساتکلیف نشانگر آن است که مدل نش با دارا بودن ضریب کارایی ۰/۴، در شبیه‌سازی شکل هیدروگراف دقت مناسبی داشته‌است. همچنین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی نش ساتکلیف موید آن است که روش ژئومورفوکلیماتیک، نسبت به سایر روش‌ها کمترین کارایی را در برآورد شکل کامل هیدروگراف داشته‌است.

منابع مورد استفاده

1. Adib, A., Salarijazi, M., Vaghefi, M., Mahmoodian, M. and Akhondali, A.M. (2010). Comparison between GcIUH-Clark, GIUH-Nash, Clark-IUH and Nash-IUH models. Turkish Journal of Eng. Env. Sci., No, 34. pp: 103-91.
2. Agirre, U., Guni, M., Lopez, J.J., and Gimena, F.N. (2005). Application of a unit hydrograph based on subwatershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. Catena, No, 64. pp: 332-321.
3. Asady, E., FakheriFard, A. and Ghorbani M.A. (2011). Tank Model Application to Derive Unit Hydrographs of Quick and Slow Runoff for Rainfall- Runoff Process (Case Study: Navrood Basin, Iran). Soil and water science, Vol, 21, No, 3. pp: 35 -23.
4. Bahrami, Sh. (2007). The impacts of geomorphological variables on flood characteristics and evaluating them in GIUH model, in 3 western watershed of Iran. Ph.D. thesis, Natural geography field, University of Tehran.
5. Bhadra, A., Panigrahy, N., Singh, R., Raghuwanshi, N.S., Mal, B.C. and Tripathi, M.P. (2008). Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. Environ. Model. Softw., Vol, 8, No, 23. pp: 1025-1013.
6. Choudhury, P. and Nongthombam, J. (2012). Application of NRCS Model to Watershed Having No Landcover Data. Environmental Management and Sustainable Development, Vol, 1, No, 2. pp:13-1.
7. Ghiasi, N. (2005). Calibration of Geomorphologic and Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph models in Lighavan and Kasilian basins. Final Report of Applied Research Plan (Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (.
8. Ghahraman, B. and Lotfi, M. (2010). The applicability of unit hydrograph models in estimating flood hydrograph. Final Report of Applied Research Plan) Northern Khorasan Regional Water Company(, 117 P.
9. Ghumman, A.R., Ahmad, M.M., Hashmi, H.N. and Kamal, M.A. (2011). Development of geomorphologic instantaneous unit hydrograph for a large watershed. Environ. Monit. Assess., DOI 10.1007/s-011-10661 3-2179.
10. Heshmatpour, A., Mohseni Saravi, M., Sadeddin, A.,

برآورد این ویژگی هیدروگراف است. نتایج Bahrami (۲۰۰۷)، در حوزه‌های پیران، پاتاق و کنگیر مبنی بر کارایی بسیار پایین روش GCIUH در برآورد این مشخصه، موید نتایج تحقیق حاضر است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در برآورد زمان تا اوج، به جز روش نش (با خطای پایین ۲۸/۲۱ درصد)، سایر روش‌ها تطابق قابل قبولی با داده‌های مشاهداتی نداشته‌اند. همچنین، در برآورد زمان پایه هیدروگراف هیچ یک از روش‌ها دقت بالایی نداشته‌اند (با خطای بالای ۵۰ درصد).

در برآورد حجم سیلاب، تمامی روش‌ها، شبیه‌سازی دقیقی از مقادیر واقعی داشته‌اند. که با نتایج Ghahraman و Lotfi (۲۰۱۰) مبنی بر کارایی بالای تمامی روش‌های مذکور، در برآورد این مشخصه، مطابقت دارد.

مقایسه مقادیر دبی تک تک هیدروگراف‌های محاسبه‌ای با مقادیر دبی نظیر آن‌ها در هیدروگراف‌های مشاهده‌ای، در تمامی وقایع با شاخص‌های آماری، نشان‌دهنده این است که روش نش دقت مناسبی در برآورد شکل کامل هیدروگراف داشته‌است. همچنین، کارایی این روش در مقایسه با سایر روش‌ها با داشتن RMSE پایین‌تر، در برآورد مختصات رواناب خروجی بیشتر است. سایر روش‌ها کارایی پایینی در برآورد این ویژگی داشته و با تفاوت فاحشی نسبت به روش نش در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش نش با داشتن کارایی بالا در برآورد دبی اوج، زمان تا اوج، حجم سیلاب و شکل کامل هیدروگراف هماهنگی مطلوب‌تری در برآورد سیلاب با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای در حوزه مورد مطالعه دارد. البته توصیه می‌گردد درستی نتایج مدل نش در سایر آبخیزهای کشور، مورد بررسی قرار گیرد و با برآورد منطقه‌ای پارامترهای k و n امکان توسعه و کاربرد آن در آبخیزهای مشابه فاقد آمار، فراهم آید. روش‌های ژئومورفولوژیک و ژئومورفوکلیماتیک نیز در آبخیز مورد مطالعه، در برآورد بعضی از مشخصات هیدروگراف، دارای کارایی مناسب هستند، بنابراین می‌توانند در برآورد مشخصات مذکور، در حوزه‌های مشابه فاقد آمار مورد استفاده قرار گیرند، این در حالی است که در برآورد بعضی دیگر، کارایی پایینی دارند، بنابراین به کارگیری این روش‌ها، به منظور برآورد هیدروگراف رواناب خروجی، برای شرایط مشابه حوزه آبخیز مورد مطالعه در کشور، بدون انجام تحقیقات بیشتر توصیه نمی‌شود.

باورقی‌ها

1. Soil Conservation Service
2. Aixola
3. Uttaranchal
4. Madhura
5. Ghagra
6. Mean Relative Error
7. Nash & Sutcliffe
8. Root Mean Square Error

model for estimating peak instantaneous discharge in ungauged watershed, based on geomorphologic instantaneous unit hydrograph, Snyder, SCS and triangular unit hydrographs. *Lar Natural Geography*, Vol, 4, No, 13. pp:48-37.

16. Nagmaii, M. (1989). *Applied Hydrology*. Vol, 2, First edition, Sara Press, Iran. 608 P.

17. Rodriguez-Iturbe, I., Gonzales Sanabria, M. and Cammano, G. (1982). On the climatic dependence of the IUH: A rainfall – runoff analysis of the Nash model and geomorphoclimatic theory. *Water Resources Research*, No, 4(18). pp: 903-884.

18. Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J. (1979). The geomorphological structure of hydrologic response. *Water Resources Research*, Vol, 15, No, 6. pp: -1409 1420.

19. Zakizadeh, F. (2013). Investigating the efficiency of Geomorphologic instantaneous unit hydrograph for estimating flood hydrograph characteristics (Case study: Manshad Watershed). MSc Thesis, Yazd University. 119 P.

Erfanian, M. (2002). The Efficiency of Geomorphologic and Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph Models in Estimating Flood Discharge. *Natural Resources Journal of Iran*, Vol, 55, No,1. pp: 25 -3.

11. Khaleghi, M.R, Ghodusi, J., Ahmadi, H. and Kamyar, M. (2010). The Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in Estimating Flood Discharge. *Natural Resources science journal*, Vol, 5, No, 2. pp: 100-89.

12. Mahmudi, Ph., Yamani, M. and Bahrami, Sh. (2007). Evaluating geomorphologic instantaneous unit hydrograph model (GIUH) in Kangir watershed (western Ivan). *Geographic research*, No, 60. pp: 14-1.

13. Mirbagheri, A.(1998). *Applied Hydrology*. Vol, 1, First edition, University of Shiraz Press, Iran. 562 P .

14. Moghali, M. and Khalilzadeh, M. (2012). Effects of geomorphologic characteristics on the hydrological response of Varband river basin, South of Iran. *Life Science Journal*, Vol, 615, No, 4(9). pp: 4139 -4131.

15. Mohammadi, A.A. and Ahmadi, H. (2011). The

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■