

استخراج آبنمود (هیدروگراف) واحد ژئومورفولوژیکی بر اساس روش لویز و مقایسه آن با آبنمودهای مشاهداتی در حوضه حسین آباد

سعید نگهبان* - استادیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شیراز
موسی عباسی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
انور مرادی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
محسن برزکار - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۳/۰۷

چکیده

در این مقاله مدل آب نمود یا هیدروگراف‌های واحد ژئومورفولوژی مخزن (GUHR) برای حوضه حسین آباد واقع در استان کردستان ارائه شده است. این مدل بر پایه مفهوم مخازن خطی آبشاری جهت تخمین سیلاب حوضه‌هایی با داده‌های محدود به کار می‌رود. در همین راستا، کاربرد مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی مخزن (GUHR) بر اساس مدل لویز و مخازن خطی آبشاری و مقایسه نتایج آن با هیدروگراف‌های مشاهداتی در حوضه حسین آباد هدف اساسی این پژوهش است. در مدل مذکور سطوح شبکه زهکشی حوضه به صورت مخازن خطی آبشاری در نظر گرفته می‌شود. تعداد و اندازه این مخازن بر مبنای زیر حوضه‌ها در طول شبکه زهکشی حوضه لحاظ می‌شود. نتایج بیانگر آن است در این مدل هیدروگراف‌های واحد به تغییر پارامتر k حساس هستند زیرا با تغییر پارامتر k تغییر زیادی در میزان دبی اوج، رسیدن به دبی اوج و شکل کلی هیدروگراف مشاهده می‌شود. هم‌چنین از مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مدل به ازای k متوسط بهینه و هیدروگراف‌های مشاهداتی رویدادها و نتایج صحت‌سنجی مدل مشخص می‌شود که می‌توان k متوسط بهینه حاصل را به عنوان k متوسط حوضه در نظر گرفت. مدل GUHR با وجود داشتن یک پارامتر، به دلیل به‌کارگیری خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه، توانایی مناسبی در شبیه‌سازی بارش - رواناب دارد. بنابراین قابل کاربرد در دیگر حوضه‌های آبخیز با شرایط یکسان می‌باشد.

واژگان کلیدی: هیدروگراف واحد، ژئومورفولوژی حوضه، مدل GUHR، فرایند بارش - رواناب، حسین آباد

مقدمه

به دلیل پیچیدگی فرآیند بارش-رواناب، مدل‌های فراوانی جهت مدل‌سازی این فرآیند مورد استفاده قرار گرفته است اما اغلب از مدل‌های تفهیمی برای شبیه‌سازی و آنالیز این فرآیند استفاده می‌شود که در این بین می‌توان مدل مخزن خطی که توسط زاش^۱ در سال ۱۹۳۴ ارائه شد را قدیمی‌ترین، ساده‌ترین و پرکاربردترین مدل تفهیمی در ارتباط با شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب و روندیابی جریان دانست که پایه اغلب مدل‌های تفهیمی دیگر می‌باشد (نورانی و همکاران، ۱۳۸۷، ۸). به تحقیق مدل مخزن خطی آبشاری با ضرایب ذخیره یکسان نش^۲ (۱۹۵۷) اولین مدل تفهیمی با استفاده از مفهوم مخزن خطی است که دارای پایه ریاضی بوده و یک رابطه صریح ریاضی برای IUH یک حوضه ارائه می‌کند. ایجاد هیدروگراف واحد در یک نقطه از شبکه زهکشی به عنوان پاسخ حوضه به یک رویداد بارندگی فرآیند پیچیده‌ای است که به خصوصیات بارش و مشخصات حوضه آبریز بستگی دارد. در دهه‌های گذشته مطالعات زیادی در مورد درک این فرآیند در حوضه‌های مختلف انجام گرفته است. از جمله مدل‌های توسعه‌یافته در این زمینه، مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی می‌باشد که توسط رودریگز-ایتورب و والدز^۳ (۱۹۷۹، ۵۵-۵۸) به عنوان واکنش حوضه آبخیز نسبت به ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای ارائه آبخیز نسبت به ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای ارائه گردیده است. جین^۴ (۱۹۹۲، ۴۷۹-۴۸۶) با تقسیم حوضه به زیر حوضه‌ها بر اساس مسیر-های مختلف پیمایش آب تا نقطه خروجی، یک هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی ارائه داد که هر زیر حوضه در خروجی‌اش عکس‌عملی با تابع توزیع دو پارامتری گاما ایجاد می‌کند. پنا و همکاران^۵ (۱۹۹۹، ۵۶) یک هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی جدید ارائه دادند که موقعیت ارتباطی آبراهه‌های فرعی در شبکه آبراهه‌ای را شامل می‌شود. هیدروگراف حاصل تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای را با مدل اصلی رودریگز-ایتورب و والدس (۱۹۷۹، ۵۵-۵۸) نشان داد درجه یک حوضه مساوی بزرگ‌ترین درجه جریان موجود در حوضه است و برای حوضه با درجه، Ω تعداد مسیرها برابر با $2\Omega - 1$ است. مدل ارائه‌شده در دو حوضه در چین به کار گرفته شد و نتایج نشان داد که این مدل یک روش منطقی برای به دست آوردن تابع عکس‌عمل حوضه است. لی و چانگ^۶ (۲۰۰۵، ۹۱-۱۰۵) مکانیزم جریان زیرسطحی را در مدل‌سازی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی دخیل ساختند. آن‌ها موجب سینماتیک را برای برآورد مقادیر اصلی بازده زمانی توزیع‌های احتمالی جریان در نواحی سطحی و کانال‌ها مورد استفاده قرار دادند و قانون دارسی را در محدوده زمانی رواناب برای برآورد جریان زیرسطحی به کار گرفتند. بهادرا و همکاران (۲۰۰۶، ۱۰۱۳-۱۰۲۵) تحقیقی را جهت تخمین رواناب در حوضه‌هایی با اطلاعات محدود با استفاده از نرم‌افزار GIUH_CAL ارائه نمودند. نرم‌افزار معرفی‌شده هیدروگراف واحد لحظه‌ای، هیدروگراف واحد (UH)، هیدروگراف رواناب مستقیم حوضه^۸ (DRH) و پارامترهای آماری را تعیین می‌کند و معیارهای بازده مدل (ME)، ضریب جرم باقیمانده (CRM)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین را برای تعیین میزان عملکرد مورد استفاده قرار می‌دهد. مدل فوق برای دو حوضه چوکرانالا در یک منطقه نیمه‌خشک و حوضه گوپتامانی در یک ناحیه نیمه مرطوب مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل GIUH_CAL را می‌توان با دقت بالایی جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه‌های فاقد آمار به کاربرد. ساهو و همکاران^۹ (۲۰۰۶، ۵۱۵-۵۲۵) در تحقیقی یک هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی بر

¹ - zoch

² - nash

³ - Rodriguez - Iturbe and Valdes

⁴ - Jin

⁵ - Pena et al.

⁶ - Lee and chang

⁷ - Unit Hydrograph

⁸ - Direct Runoff Hydrograph (DRH)

⁹ - Sahoo et al.

مبنای مدل‌های کلارک (۱۹۴۵، ۱۴۱۹-۱۴۴۹) و نش (۱۹۵۷، ۱۱۴-۱۱۸) توسعه دادند. نتایج این مقایسه نشان داد که هیدروگراف‌های مشاهداتی با دقت قابل قبولی به وسیله GIUH بر مبنای مدل‌های نش و کلارک برآورد می‌شوند. ادیب و همکاران (۲۰۱۰، ۹۱-۱۰۳) در تحقیقی مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتولوژی^۱ GCIUH بر مبنای مدل کلارک^۲ و مدل هیدروگراف واحد بر مبنای مدل نش را در حوضه کلیسیان مورد ارزیابی و بررسی قرار داده‌اند. بدین منظور هیدروگراف واحد لحظه‌ای^۳ (IUH) در مدل کلارک از طریق نرم‌افزار HEC-HMS و در مدل Nash از طریق داده‌های بارش-رواناب تعیین شد نتایج نشان داد این دو مدل در استخراج هیدروگراف سیلاب دقت و کارایی بالایی را نشان می‌دهند. خالقی و همکاران (۲۰۱۱، ۱۶۸) در تحقیقی مدل‌های SCS، روسو، اشنایدر، مثلثی و مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی را در حوضه کسلیان به کار گرفتند مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل‌ها نشان داد که مدل ژئومورفولوژی در مقایسه با مدل‌های دیگر مقدار دبی اوج و زمان اوج را بهتر تخمین می‌زند. همچنین این مدل عملکرد بالایی در شبیه‌سازی رواناب و هیدروگراف‌ها نشان می‌دهد. عرفانیان (۱۳۷۷، ۱۲) در تحقیق خود در حوضه آبخیز سمنان با بسط تئوری‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک و ژئوکلیماتیک، روابط ریاضی تعیین شکل واکنش هیدرولوژی حوضه با رتبه سه تا پنج به صورت تابعی از مشخصات بارندگی، پارامتر دینامیکی سرعت جریان و نسبت‌های ژئومورفولوژیکی هورتون به دست آورد. محمودی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی با هدف بررسی نقش اشکال و عوامل ژئومورفولوژیکی در ویژگی‌های سیلاب مدل GIUH در حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) ارزیابی کردند نتایج نشان داد که کارایی مدل GIUH در برآورد شکل کامل هیدروگراف به دلیل وجود اشکال خاص ژئومورفولوژی مانند چاله‌ها، درز و شکاف‌های آهکی و تکتونیک در حوضه مورد مطالعه و روابط پیچیده آن‌ها با ویژگی‌های بارش، مورفومتری و آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش یافته است. درحالی‌که کارایی آن در برآورد دبی پیک سیلاب مناسب بود. همچنین نتایج مدل مذکور در رگبارهای مختلف متفاوت بود و روند ثابتی را نشان نمی‌داد. نورانی و همکاران (۱۳۸۷، ۷۶-۵۹) در تحقیقی مدل GUHCR را برای تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای ارائه کردند. در این مدل برخلاف مدل GIUH ارائه‌شده توسط لویز و همکاران^۴ (۲۰۰۵، ۱۲۸-۱۴۳) که یک مقدار ثابت به عنوان ضریب ذخیره برای تمام مخازن معرف زیر حوضه‌ها توسط واسنجی اختیار می‌کند با دخالت دادن ژئومورفولوژی زیر حوضه‌ها، پارامتر مخزن مورد استفاده در مدل را برای هر مخزن متفاوت در نظر می‌گیرد. این مدل توانایی پوشش تغییرات پارامتر تأخیر زیر حوضه‌ها را دارد. نتایج نشان داد که صحت عمل مدل GUHCR از مدل کلاسیک نش بیشتر بوده و پدیده بارش-رواناب را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. هدف پژوهش حاضر کاربرد مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی مخزن^۵ (GUHR) بر اساس روش لویز و مقایسه نتایج آن با هیدروگراف‌های مشاهداتی در حوضه حسین‌آباد می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه حسین‌آباد از نظر موقعیت ریاضی در محدوده $35^{\circ} 03' 04''$ تا $47^{\circ} 48' 19''$ طول شرقی و $50^{\circ} 32' 03''$ تا $35^{\circ} 15'$ عرض شمالی و از نظر موقعیت نسبی در غرب کشور در 50 کیلومتری شمال شرقی شهر سنندج بین دیواندره و سنندج قرار گرفته است. از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی، این حوضه بخشی از حوضه آبریز سیروان است. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

به طور کلی دو واحد توپوگرافی در حوضه مورد نظر وجود دارد که عبارت است از کوهستان که واحد اساسی است و بیش از ۹۰ درصد حوضه را شامل می‌شود با دامنه‌هایی که حالت تپه ماهوری دارند و محدوده کمی به صورت نهشته‌های رودخانه‌ای

¹ - Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph

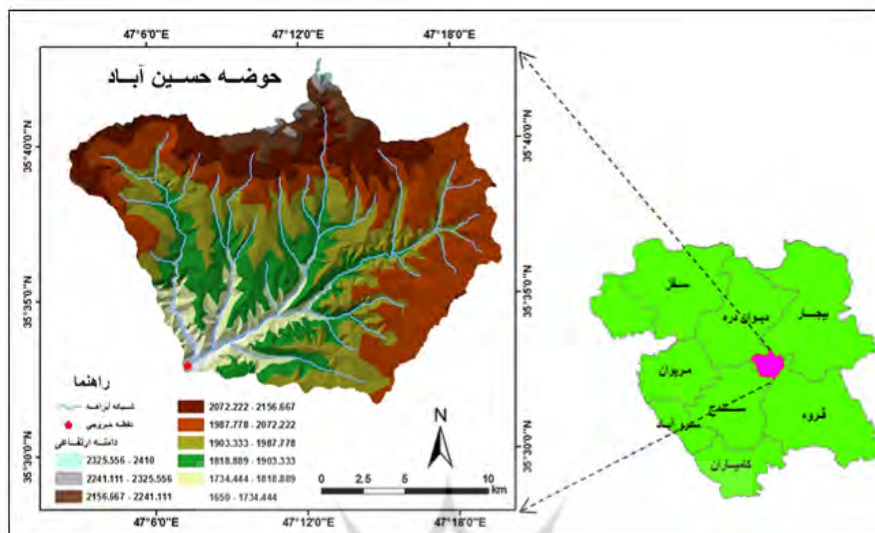
² - GCIUH-Clark

³ - Instantaneous Unit Hydrograph

⁴ - Lopez et al.

⁵ - Geomorphological Unit Hydrograph of Reservoir

می‌باشد. کوه‌های منطقه اختلاف ارتفاع نسبتاً زیادی با دره‌ها دارند. ارتفاعات واقعی حوضه از ۱۶۱۶ متر حد پایینی تا ۲۳۵۰ متر حد بالایی است و ارتفاع میانه حوضه ۱۹۴۰ متر است. ارتفاع مد (نما) حوضه ۲۰۵۰ متر است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این مقاله جهت استخراج هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی مخزن (GUHR) برای حوضه مورد مطالعه از روش لویز بهره گرفته شده و مراحل طی شده (شکل ۲) که به شرح زیر است:

در مدل (GUHR) سطوح شبکه زهکشی حوضه به صورت مخازن خطی آبشاری در نظر گرفته می‌شود. تعداد و اندازه این مخازن بر مبنای زیر حوضه‌ها در طول شبکه زهکشی حوضه لحاظ می‌شود. بر طبق نظر چاو و همکاران^۱ (۱۹۸۸) حجم ذخیره مخزن $S(T)$ ، با ضریب ذخیره K به صورت خطی به خروجی، $Q(T)$ ، مرتبط می‌شود.

یعنی:

$$S(T) = K \cdot Q(T) \quad (1)$$

با استفاده از قانون پیوستگی و رابطه مخزن خطی [۱] خواهیم داشت:

$$\frac{dS(T)}{dT} = I(T) - Q(T)$$

$$K \frac{dQ(T)}{dT} + Q(T) = I(T) \quad (2)$$

که در آن $I(T)$ ورودی (بارش یا جریان) بوده و D عملگر دیفرانسیل می‌باشد که در معادله به جای $\frac{d}{dT}$ معادله دیفرانسیل فوق قرار می‌گیرد.

$$(KD + I) \cdot Q(T) = I(T) \quad (3)$$

هورتون (۱۹۴۵:۲۸۳) اولین کسی بود که معیاری را برای درجه‌بندی آبراهه‌ای بر حسب چینش آبراهه‌ها در حوضه

¹ - Chow et al.

ارائه کرد. سیستم درجه بندی هورتون بعداً توسط استرالر^۱ (۱۹۶۴) تکمیل شد. سیستم درجه بندی لویز و همکاران (۲۰۰۵:۱۳۳) عکس درجه بندی هورتون می باشد (درجه بندی از خروجی به بالادست)، که با دو شاخص زیر بیان می شود:

✓ شاخص اول از یک آبراهه خروجی شروع شده و به سمت بالادست افزایش می یابد و درجه کانال یا زیر حوضه را نشان می دهد.

✓ شاخص دوم برای کانال هایی با درجه مشابه به کار می رود.

حداکثر درجه آبراهه های حوضه که همان درجه حوضه می باشد، به جزئیات شبکه زهکشی حوضه بستگی دارد. معادله (۳) برای هر مخزن به کار گرفته می شود و با به کار گرفتن معادلات آبراهه های هم درجه معادلات یک سیستم واحد به دست می آید. در این معادله $I(T)$ ورودی شامل بارش مؤثر به هر زیر حوضه با درجه i یعنی $R_i(T)$ دبی خروجی از مخزن یا زیر حوضه بالادست یعنی $Q_{i-1}(T)$ می باشد. بنابراین برای هر مخزن با ورودی مشخص معادله دیفرانسیلی با فرض توزیع مکانی یکنواخت برای بارش در حوضه و ثابت بودن ضریب ذخیره K برای کل مخازن حاصل می شود. مجموعه روابط دیفرانسیلی (۴) برای مخازن متوالی به صورت زیر می باشد:

$$(KD+I).Q_5=R_5$$

$$-Q_5+(KD+1)Q_4=R_4$$

$$-Q_4+(KD+1)Q_3=R_3$$

$$-Q_3+(KD+1)Q_2=R_2$$

$$-Q_2+(KD+1)Q_1=R_1$$

معادلات مخازن هم درجه جمع شده و برای یک حوضه با درجه n بسط داده می شود و مدل به صورت معادله (۵) نشان داده می شود:

$$(KD+I).Q_n(T) = R_e(T)$$

$$-Q_n(T) + (KD + 1).Q_{n-1}(T) = R_{e-1}(t)$$

.

.

.

$$-Q_3(T) + (KD + 1).Q_2(T) = R_2(t)$$

$$-Q_2(T) + (KD + 1).Q_1(T) = R_1(t)$$

$$-Q_{4-1}(T) + (KD$$

در اینجا: $Q_i(T) = \sum_{n=j-1}^p(Q_i j(t))$ ، $R_i(T) = \sum_{n=j-1}^p(R_i j(t))$ و P تعداد زیر حوضه های درجه i است. مطابق نظر سینگ^۲ (۱۹۸۸)، ارتباط سری مخازن را نشان می دهد. جهت کاربرد این مدل برای استخراج هیدروگراف واحد فرض های زیر در نظر گرفته می شود:

✓ بارش مؤثر به نسبت ثابت و به صورت یکنواخت در سطح حوضه توزیع می شود.

✓ $R_T(T)$ که حجم تجمعی شدت باران مؤثر در تمام سطح حوضه می باشد برای یک فاصله زمانی Δt واحد است.

بنابراین می توان هیدروگراف واحد در زمان Δt را استخراج نمود. عمق بارش مؤثر سطح هر زیر حوضه، $R_i(T)$ ، به مساحت زیر حوضه، A_i و مساحت حوضه، A_T بستگی دارد.

^۱ - Strahler

^۱ - Singh

$$(۶) \quad R_i(T) = \frac{A_i}{A_t} R_i(t)$$

که در : $R_T(t) = \frac{1}{\Delta t} \dots \dots \dots 0 \leq t \leq \Delta t$

آن $R_i(T) = 0 \dots \dots \dots t > \Delta t$

تخمین پارامتر k در مدل GUHR

در مدل GUHR، K با استفاده از زمان بین مراکز ثقل هیدروگراف رواناب مستقیم (DRH) و هیتوگراف بارش مؤثر^۱ (ERH) از رابطه زیر به دست می‌آید (لوپز، ۲۰۰۵: ۱۲۸-۱۴۳).

$$K = \frac{A_T [t_{DRH} - t_{ERH}]}{\sum_{i=1}^n j A_i} \quad (۷)$$

ارزیابی مدل

جهت بررسی عملکرد مدل از معیارهای زیر استفاده شد:

✓ بازده مدل با معیار نش - ساتکلیف

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^m [Q_{t,obs} - Q_{t,sim}]^2}{\sum_{t=1}^m [Q_{t,obs}]^2} \quad (۸)$$

✓ $Q_{t,sim}$ و $Q_{t,obs}$ به ترتیب مقادیر دبی محاسباتی و دبی مشاهداتی در زمان t: $Q_{t,sim}$ و $Q_{t,obs}$ به ترتیب درصد خطای دبی اوج

$$(۹) \quad \times 100 \cdot E_{QP} = \frac{Q_{P,sim} - Q_{P,obs}}{Q_{P,obs}} \quad \checkmark$$

درصد خطای زمان رسیدن به دبی اوج

$$(۱۰) \quad \times 100 \cdot E_{TP} = \frac{T_{P,sim} - T_{P,obs}}{T_{P,obs}}$$

که در آن‌ها $Q_{P,sim} - Q_{P,obs}$ به ترتیب مقادیر دبی‌های اوج محاسباتی و مشاهداتی و $T_{P,sim} - T_{P,obs}$ زمان‌های رسیدن به این دبی‌ها می‌باشند. مقدار کمتر خطاها عملکرد بهتر مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۲: دیاگرام مراحل پژوهش (منبع: نگارندگان)

بحث و یافته‌ها

در ابتدای کار زیر حوضه‌های آبراهه‌ها در نقشه ۱/۲۵۰۰۰ محدود و مساحت مربوط به هر زیر حوضه برای استخراج هیدروگراف واحد از مدل لویز و همکاران تعیین گردید. در مرحله بعد بر اساس درجه‌بندی لویز و همکاران (۱۳۳:۲۰۰۵) آبراهه‌های حوضه حسین‌آباد درجه‌بندی آبراهه‌های حوضه در شکل (۳) آورده شده است. از چهار رویداد جهت مقایسه بین هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و هیدروگراف‌های مشاهده‌ای به دلیل محدودیت داده‌های هم‌زمان رواناب و بارش بهره گرفته شده است. از این تعداد، سه رویداد جهت استخراج مدل و یک رویداد جهت صحت‌سنجی مدل به کار گرفته شد.

هیدروگراف‌های رواناب مستقیم با کسر دبی پایه ثابت از هر یک از هیدروگراف‌های مشاهده‌ای تعیین و از طریق آن‌ها شاخص Φ برای هر یک از رویدادهای بارش محاسبه (جدول ۲) و از هیتوگراف مشاهده‌ای مربوطه کسر گردید تا هیتوگراف‌های بارش جریان ساز حاصل شوند. هیدروگراف‌های واحد مشاهده‌ای با کاربرد روش کانولوشن روی هیتوگراف‌های بارش جریان ساز و هیدروگراف‌های رواناب مستقیم مربوطه استخراج گردیدند. در مرحله بعد پارامتر k مدل $GUHR$ از معادله ۷ برای هر رویداد محاسبه گردید و بر مبنای K های حاصل شده بازده معینی مشخص شده و با روش سعی و خطا (کالیبراسیون) K های بهینه با حداقل نمودن خطای بین هیدروگراف‌های واحد حاصل از مدل و هیدروگراف‌های واحد مشاهده‌ای تعیین گردید. هیدروگراف‌های سیلاب محاسباتی حوضه با استفاده از برنامه رایانه‌ای حاوی محاسبات هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی و روش کانولوشن که در محیط فرترن تدوین شده، به دست می‌آید. جدول ۱ پارامتر k را برای هر رویداد از روش گشتاور و روش سعی و خطا نشان می‌دهد و همان‌گونه که مشخص است مقادیر پارامتر K از دو روش سازگاری نزدیکی را باهم نشان می‌دهند. شکل (۴) مقایسه هیدروگراف‌های حاصل از مدل $GUHR$ با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای را برای رویدادهای بارش-رواناب نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده مدل برای هر رویداد در جداول (۲ و ۳) قابل مشاهده است. از مقایسه هیدروگراف‌های استخراج شده از مدل با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای متناظر و با توجه به جداول (۲ و ۳) می‌توان نتیجه گرفت که $GUHR$ در شبیه‌سازی بازوهای هیدروگراف اختلاف کمی با مقادیر مشاهده‌ای دارد. این مدل زمان

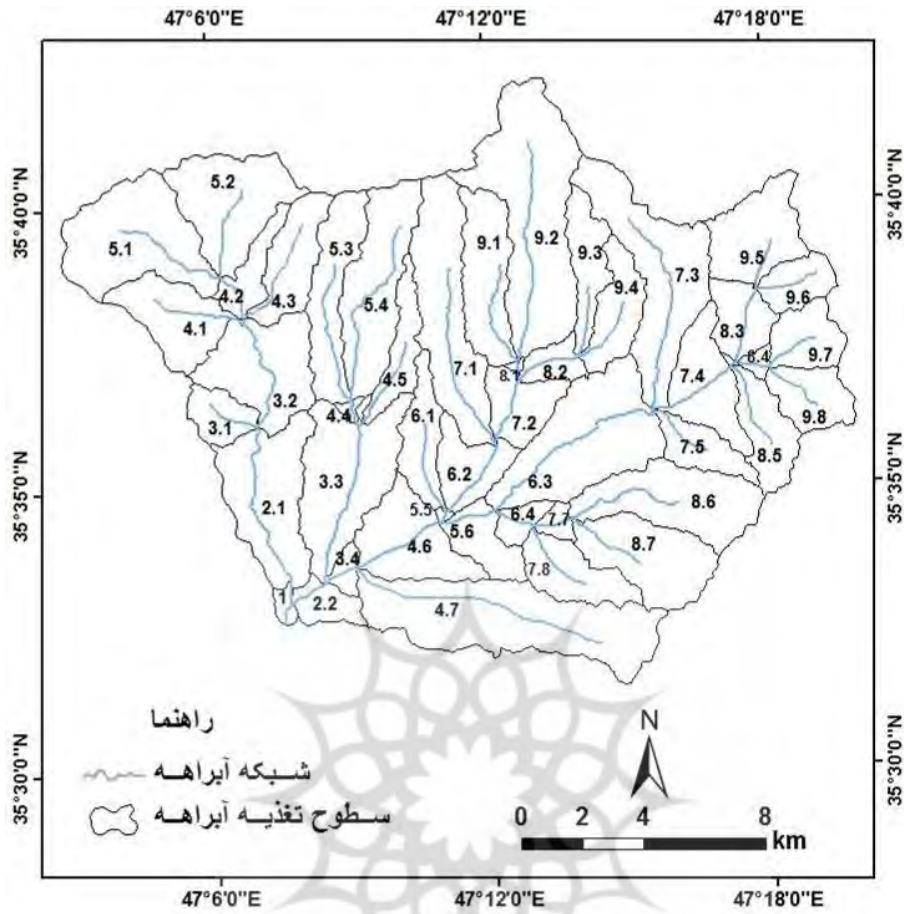
رسیدن به دبی اوج را کمتر و مقدار دبی اوج را بسیار نزدیک به مقادیر مشاهداتی نمایش می‌دهد. سپس پارامتر K منحصر به فرد حوضه از میانگین K های بهینه رویدادها محاسبه گردید. مقدار K بهینه متوسط معادل ۳۲ دقیقه به دست آمد. به ازای K متوسط، بهینه هیدروگراف‌های سیلاب تعیین و برای هر رویداد با هیدروگراف سیلاب مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۵). نتیجه نشانگر تطابق خوب بین مشاهدات و مدل حاصل شده است.

جدول ۱: محاسبه پارامتر مدل $GUHR$ از روش گشتاورها، سعی و خطا

تاریخ رویداد	$k(min)$ (روش گشتاور)	$k(min)$ (روش سعی و خطا)
۹۰/۰۱/۲۴	۱۴	۲۵
۹۰/۰۲/۱۶	۲۰	۲۵
۹۱/۰۳/۰۴	۳۱	۴۵

جدول ۲: مقادیر زمان و دبی اوج به دست آمده از مدل برای رویدادهای مورد بررسی

تاریخ رویداد	شاخص Φ	زمان اوج (ساعت)		دبی اوج (m^3/s)	
		$GUHR$	مشاهده‌ای	$GUHR$	مشاهده‌ای
۹۰/۰۱/۲۴	۴/۵۶	۳/۵	۳	۵/۰۹	۶/۰۵
۹۰/۰۲/۱۶	۷/۴	۳/۲۵	۵/۵	۳/۵۴	۳/۰۲
۹۱/۰۳/۰۴	۵/۸	۵	۶/۵	۱/۶	۱/۷۸



شکل ۳: درجه بندی های حوزه مورد مطالعه و سطوح تغذیه آن ها بر اساس روش لویز

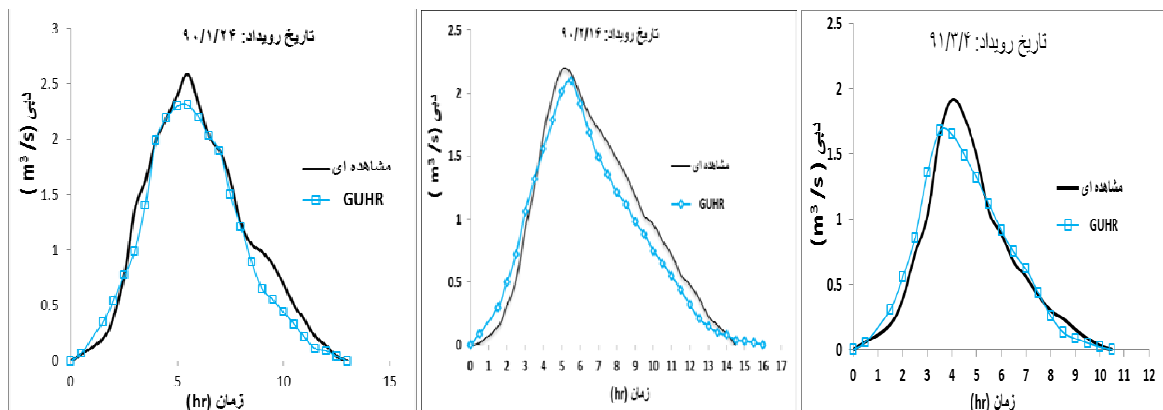
جدول ۳: نتایج ارزیابی مدل *GUHR*

معیارهای ارزیابی			تاریخ رویداد
$\%T_p^3$	Q_p^2	E^1	
۱۴/۲۶	-۱۱/۶۵	.۹۱	۹۰/۰۱/۲۴
-۳۴/۱۴	-۵۶/۳۴	.۱۶	۹۰/۰۲/۱۶
-۱۰/۰۸	-۳	۰/۹۵	۹۱/۰۳/۰۴

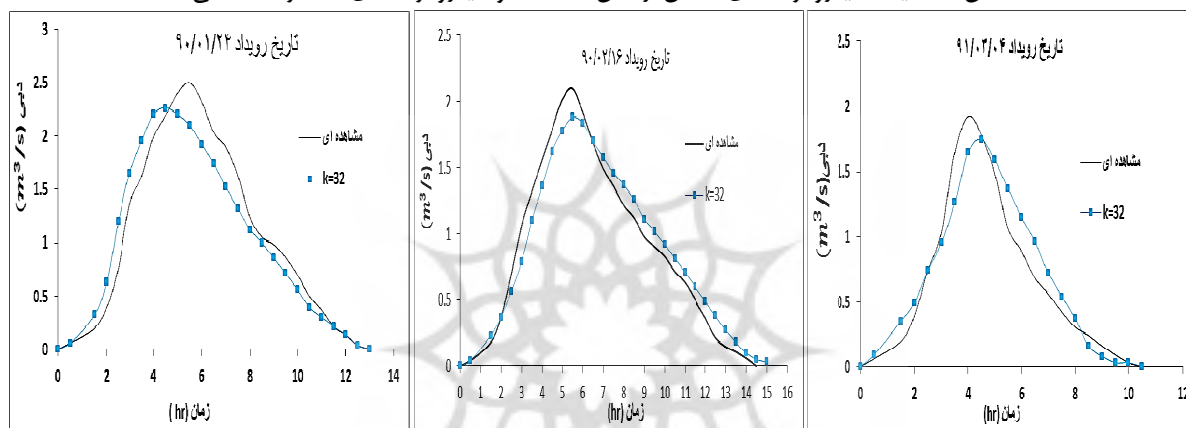
۱- بازده مدل با معیار نش- ساتکلیف

۲- مقادیر منفی Q_p نشان می دهند که مقادیر محاسباتی کمتر از مشاهداتی است.

۳- مقادیر مثبت و منفی T_p نشان می دهند که مدل زمان رسیدن به دبی اوج را به ترتیب زودتر و دیرتر از زمان مشاهداتی پیش بینی کرده است.



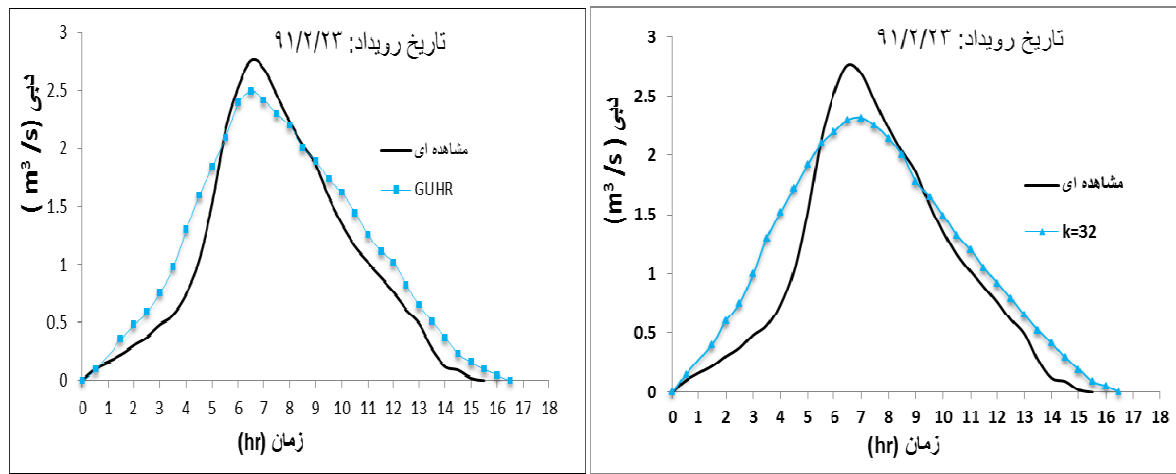
شکل ۴: مقایسه هیدروگراف‌های حاصل از مدل GUHR و هیدروگراف‌های متناظر مشاهداتی



شکل ۵: مقایسه هیدروگراف‌های مدل GUHR به ازای k متوسط بهینه و هیدروگراف‌های متناظر مشاهداتی

جدول ۴: نتایج ارزیابی مدل GUHR به ازای K متوسط بهینه

معیارهای ارزیابی				تاریخ رویداد
		E		
-۳۵/۸۶	-۲۹/۲۵	۰/۷۱	۰/۷۱	۹۰/۰۱/۲۴
-۳۰	۵	۰/۴۹	۰/۶۲۸	۹۰/۰۲/۱۶
-۲۹/۲۵	-۲۳/۳۸	۰/۷۸	۰/۸	۹۱/۰۳/۰۴
-۱۰/۵۸	-۷/۸۹	۰/۹۲	۰/۸۱	۹۱/۲/۲۳



شکل ۶: نمودار مرحله صحت‌سنجی مدل

جدول ۵: نتایج مرحله صحت‌سنجی مدل GUHR

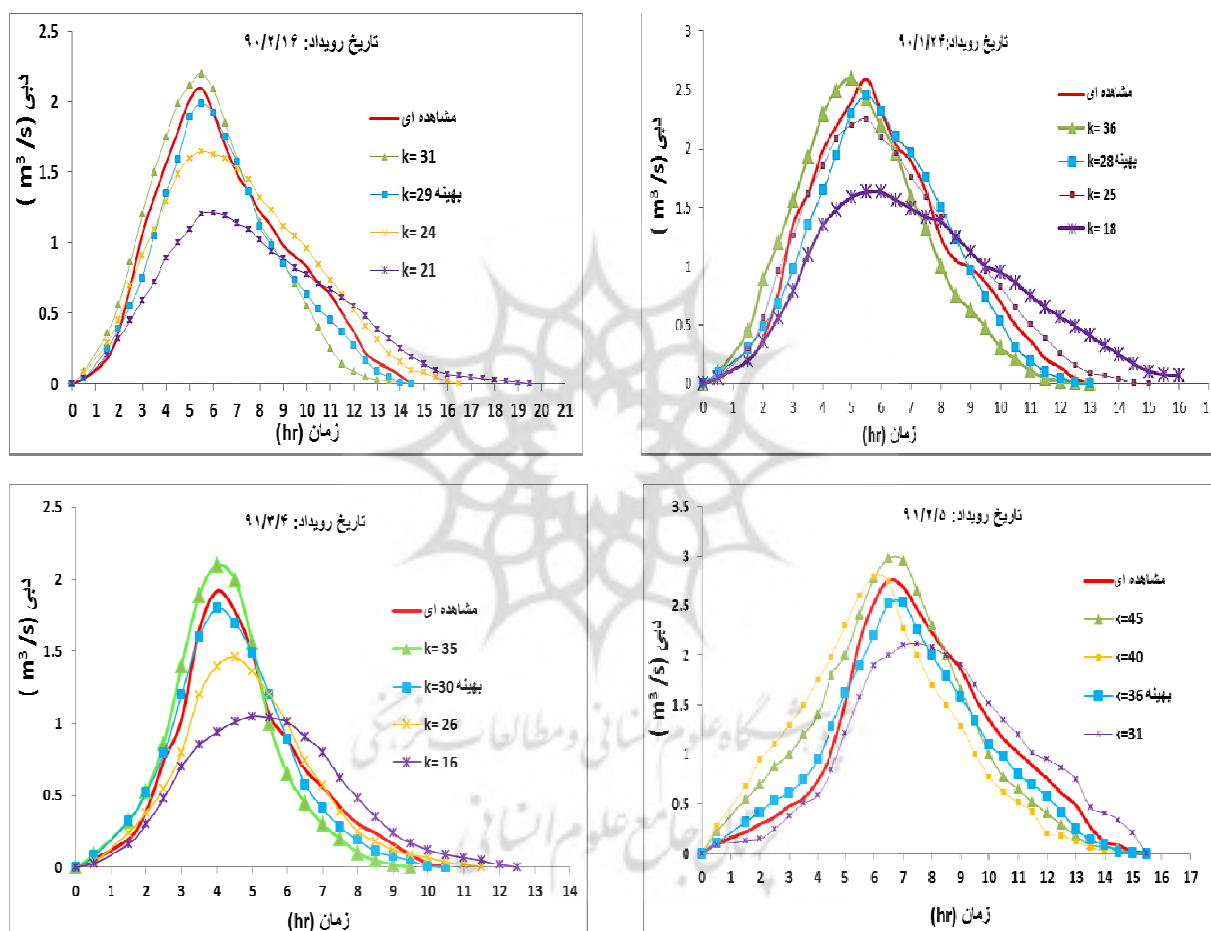
معیارهای ارزیابی				دبی اوج (s/m^3)		زمان اوج (ساعت)		K(min) (روش سعی و خطا)	K(min) (روش گشتاور)	شاخص ϕ	تاریخ رویداد
ϕ	E	θ	F	مشاهده ای	مشاهده ای	مشاهده ای	مشاهده ای	-	-	-	-
-۱۶/۴	-۲/۱	.۸۶	.۸	۱/۷	۱/۵۴	۳/۵	۲/۷۵	۲۷	۲۶	۱۰/۴	۹۱/۲/۲۳

در مرحله بعد با استفاده از یک رویداد، مدل مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. نتایج آن در شکل (۶) و جدول (۵) منعکس گردیده است. ضریب همبستگی ۰/۸ و بازده ۰/۸۶ نشانگر کارایی بالای مدل می‌باشد. متوسط پهنه به عنوان یک پارامتر ژئومورفولوژیکی منحصر به فرد حوضه هیدروگراف سیلاب مدل برای این رویداد به ازای این مقدار و هیدروگراف مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت تا از قابلیت کاربرد k اطمینان حاصل گردد (شکل ۶). مقدار ضریب همبستگی و بازده با توجه به جدول (۴) به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹۲ به دست آمده است. بنابراین مقدار ۳۲ دقیقه را می‌توان به عنوان k متوسط حوضه حسین‌آباد با دقت قابل قبولی در نظر گرفت.

حساسیت سنجی مدل GUHR نسبت به پارامتر k

پارامتر k در مدل GUHR بستگی به زمان پاسخ حوضه به بارش دارد. چنین فرضی که این پارامتر در بسیاری از روش‌ها به عنوان مشخصه ثابت در نظر گرفته می‌شود به طور کامل صحیح نیست زیرا زمان پاسخ حوضه یک مشخصه دینامیکی است

که ممکن است به وسیله بارش تحت تأثیر قرار گیرد. بنابراین بایستی حساسیت این مدل نسبت به تغییر پارامتر k سنجیده شود. هیدروگراف‌های سیلاب مدل GUHR به ازای مقادیر مختلف k مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در جدول ۵ و شکل ۷ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با تغییر پارامتر k تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در میزان دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج و همچنین شکل کلی هیدروگراف ایجاد گردیده است. دبی اوج افزایش و زمان رسیدن به دبی اوج با کاهش مقدار k کاهش می‌یابد و بالعکس. بنابراین می‌توان گفت حساسیت هیدروگراف‌های واحد به تغییر پارامتر k به میزان قابل‌توجه کاملاً منطقی است. به دلیل آن‌که این مدل فقط به پارامتر k بستگی دارد. اگر چه برای هر رویداد می‌توان طیف وسیعی از k ها را ارائه نمود که بازده قابل قبولی را نشان می‌دهند.



شکل ۷: نمودار حساسیت هیدروگراف‌های سیلاب به ازای مقادیر مختلف k (مدل GUHR)

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعاتی که انجام گرفته است و نظرات محققین مختلف کاملاً روشن است که در مدل آبشار مخازن خطی نامساوی با بارندگی مؤثر توزیع‌شده کلاسیک پارامتر تأخیر زیر حوضه‌ها، k_i برای هر یک از زیر حوضه‌ها متفاوت می‌باشد. بنابراین این موضوع موجب شده است که به علت تعداد زیاد پارامتر قابل تخمین (به ازای هر زیر حوضه) محاسبه این پارامترها، عملی

بسیار دشوار بوده و تا حدی غیرعملی و غیرممکن می‌نماید. مدل GUHR که از مفهوم مخازن آبخیزی استفاده نموده است می‌تواند پیش‌بینی کننده مناسبی برای دبی اوج باشد دلیل آن متوسط درصد خطای دبی اوج می‌باشد که در حد معقول و جالب توجهی است و معادل ۹ درصد به دست آمده است. این مدل زمان رسیدن به دبی اوج را زودتر از زمان مشاهده شده پیش‌بینی می‌کند. در این مدل هیدروگراف‌های واحد به تغییر پارامتر k حساس هستند زیرا با تغییر پارامتر k تغییر زیادی در میزان دبی اوج، رسیدن به دبی اوج و شکل کلی هیدروگراف مشاهده می‌شود. دبی اوج افزایش و زمان رسیدن به دبی اوج با کاهش مقدار k کاهش می‌یابد و بالعکس. با این وجود حساسیت هیدروگراف‌های واحد به تغییر پارامتر k طبیعی است. اما نکته اساسی این است که با توجه به مطالب گفته شده همچنان نیز این امکان وجود دارد که گستره زیادی از k ها را برای هر رویداد در نظر گرفت که نتایج قابل قبولی را نیز به دست دهند. از مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مدل به ازای k متوسط بهینه و هیدروگراف‌های مشاهداتی رویدادها، همچنین نتایج صحت‌سنجی مدل مشخص می‌شود که می‌توان k متوسط بهینه حاصل را به عنوان k متوسط حوضه در نظر گرفت. با این وجود می‌توان نتیجه گرفت که مدل GUHR دارای یک پارامتر قابل تخمین می‌باشد اما برای کلیه زیر حوضه‌های موجود یک مقدار پارامتر تأخیر ثابت، k اختیار می‌کند. از نکات اساسی و قابل اشاره که کارایی مدل را تا حد زیادی آشکار می‌سازد اینکه مدل مذکور به دلیل به کارگیری خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه، توانایی مناسبی در شبیه‌سازی بارش - رواناب دارد.

منابع

- عرفانیان، م. (۱۳۷۷)، بررسی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و ژئومورفوکلیماتولوژی در حوضه آبخیز در جزین سمنان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- محمودی، ف.، یمانی، م. و بهرامی، ش. (۱۳۸۶)، ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH) در حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب)، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صفحات ۱۴-۱۰.
- نورانی، و.، اعلمی، م.، دل افروز، ه. و، سپهری (۱۳۸۷)، معرفی یک آب نمود واحد ژئومورفولوژیکی بر پایه مخازن خطی آبخیزی در محیط GIS. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، سال ۴، شماره ۳.
- Adib, A., Salarjazi, M., Vaghefi, M., Mahmoodian Shoostari, M. and A.M.Akhondali. (2010). Comparison between GCIUH-Clark, Clark-IUH, and Nash-IUH models. *Tübitak*, 34: 91-103.
- Agirre, U., Goni, M., Lopez, J. J. and F. N. Gimena. (2005). Application of a unit hydrograph based on subwatershed division and comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. *Catena*, 64: 321-332.
- Bhadra, A., Panigraphy, N., Singh, R., Raghuwanshi, N. S., Mal, B. C. and M. P. Tripathi. (2008). Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. *Environmental Modeling and Software*, 23: 1013-1025.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. and L. W. Mays. (1988). *Applied hydrology*. McGraw- Hill, New York, USA.
- Clark, C. O. (1945). Storage and the unit hydrograph, *SOC. Civil Engineering*, 110: 1419-1449.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to qantative morphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 56: 281-283.
- Jin, C. X. (1992). A deterministic gamma geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types. *Water Resources Research*, 28: 479-486.
- haleghi, M. R., Gholami, V., Ghodusi, J. and H. Hosseini. 2011. Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in flood hydrograph simulation. *Catena*, 87: 163-171.
- ee, K. T. and Ch. H. Chang. 2005. Incorporating subsurface-flow mechanism into Geomorphology based IUH modeling. *Journal of Hydrology*, 311: 91-105.
- Lopez, J. J., Gimena, F. N., Goni, M. and U. Agirre. 2005. Analysis of a unit hydrograph model based on watershed geomorphology represented as a cascade of reservoirs. *Agricultural Water Management*, 77: 128-143.

- *Pena, A., Ayuso, L. and V. Giraldez. 1999. Incorporating topologic properties into the, Geomorphologic instantaneous unit hydrograph. Phys. Chem.Earth(B), 24(1-2): 55-58.*
- *Rodriguez-Iturbe, I. and J. B. Valdes. 1979. The geomorphologic structure of the hydrologic response. Water Resources Research, 15(6): 1409-1420.*
- *Sahoo, B., Chatterjee, Ch., Narendra, S., Raghuwansh, Singh, R. and R. Kumar. 2006. Flood estimation by GIUH-based Clark and Nash models. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 32: 515-525.*
- *Singh, V. P. 1988. Hydrologic systems: rainfall- runoff modeling. Prentic Hall, NJ.*
- *-Strahler, A. N., 1964. Quantitative Geomorphology of drainage basins and channel networks. Handbook of Applied Hydrology. By Chow, McGraw- Hill, Newyork.*
- *Nash, J. E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph, IASH publ, 42: 114-118.*

