

# استخراج هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی بر مبنای مخازن خطی آبشاری (مطالعه موردی: حوضه ليقوان)

فاطمه غلامی صومعه<sup>۱\*</sup>، احمد فاخری فرد<sup>۲</sup> و یعقوب دین پژوه<sup>۳</sup>

\* نویسنده مسئول، کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز [f.gholami.s@gmail.com](mailto:f.gholami.s@gmail.com)

<sup>۲</sup> - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۲۰

## چکیده

مفهوم هیدروگراف واحد لحظه ای (IUH) به طور گسترده در تخمین سیلاب حوضه‌هایی با داده‌های محدود به کار می‌رود. در این مقاله مدل هیدروگراف‌های واحد ژئومورفولوژی مخزن (GUHR) برای حوضه آبریز ليقوان در استان آذربایجان شرقی ارائه شده است. این مدل بر پایه مفهوم مخازن خطی آبشاری می‌باشد. هر مخزن نسبتی از مساحت حوضه را که آبراهه در آن جریان دارد به عنوان یک زیرحوضه در بر می‌گیرد. بدین ترتیب زیرحوضه‌ها با یکسری مخازن خطی متوالی که با توجه به ژئومورفولوژی حوضه توزیع شده اند جایگزین می‌شوند. در واقع مدل GUHR، روندیابی جریان در این مخازن و تعیین هیدروگراف واحد در خروجی حوضه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه شده با وجود داشتن یک پارامتر، به دلیل بکارگیری خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه، توانایی مناسبی در شبیه سازی بارش - رواناب دارد. آنالیز حساسیت مدل بر مبنای تغییرات پارامتر انجام شد و نتایج نشان داد که با کاهش مقدار K، میزان دبی اوج افزایش و زمان رسیدن به دبی اوج کاهش می‌یابد و بالعکس.

**کلید واژه ها:** حوضه آبریز ليقوان، رواناب مستقیم، هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی مخزن (GUHR)، هیدروگراف واحد لحظه‌ای، مدل سازی بارش - رواناب.

## مقدمه

ایجاد هیدروگراف واحد در یک نقطه از شبکه زهکشی به عنوان پاسخ حوضه به یک رویداد بارندگی فرایند پیچیده ای است که به خصوصیات بارش و مشخصات حوضه آبریز بستگی دارد. در دهه های گذشته مطالعات زیادی در مورد درک این فرآیند در حوضه‌های مختلف انجام گرفته است. از جمله مدل‌های توسعه یافته در این زمینه، مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی می‌باشد که توسط رودریگز - ایتورب و والدز<sup>۱</sup> (۱۵) به عنوان واکنش حوضه آبخیز نسبت به ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای ارائه گردیده است. ادیب و همکاران (۴) در تحقیقی مدل های هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتولوژی<sup>۲</sup> GCIUH بر مبنای مدل کلارک (GCIUH-Clark) و مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی<sup>۳</sup> GIUH بر مبنای مدل نش (GIUH-Nash) را در حوضه کسلیان مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. بدین منظور هیدروگراف واحد لحظه‌ای<sup>۴</sup> (IUH) در مدل کلارک از طریق نرم

افزار HEC-HMS و در مدل Nash از داده‌های بارش - رواناب تعیین شد. نتایج نشان داد این دو مدل در استخراج هیدروگراف سیلاب دقت و کارایی بالایی را نشان می‌دهند. بهادر و همکاران (۶) تحقیقی را جهت تخمین رواناب در حوضه‌هایی با اطلاعات محدود با استفاده از نرم افزار GIUH\_CAL ارائه نمودند. نرم افزار معرفی شده هیدروگراف واحد لحظه ای، هیدروگراف واحد<sup>۵</sup> (UH)، هیدروگراف رواناب مستقیم حوضه<sup>۶</sup> (DRH) و پارامترهای آماری را تعیین می‌کند و معیارهای بازده مدل (ME)، ضریب جرم باقیمانده (CRM)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) را برای تعیین میزان عملکرد مورد استفاده قرار می‌دهد. مدل فوق برای دو حوضه چوکرانالا در یک منطقه نیمه خشک و حوضه گوپتامانی در یک ناحیه نیمه مرطوب مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل GIUH\_CAL را می‌توان با دقت قابل قبولی جهت شبیه سازی بارش - رواناب در حوضه های فاقد آمار به کار گرفت. پنا و

5. Unit Hydrograph  
6. Direct Runoff Hydrograph (DRH)

1. Rodriguez - Iturbe and Valdes  
2. Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph  
3. Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph  
4. Instantaneous Unit Hydrograph

همکاران<sup>۱</sup> (۱۴) یک هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی جدید ارائه دادند که موقعیت ارتباطی آبراهه های فرعی در شبکه آبراهه ای را شامل می‌شد. هیدروگراف حاصل تفاوت قابل توجهی را با مدل اصلی رودریگز-ایتورب و والدس (۱۵) نشان داد. جین<sup>۲</sup> (۱۰) با تقسیم حوضه به زیر حوضه ها بر اساس مسیرهای مختلف پیمایش آب تا نقطه خروجی، یک هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی ارائه داد که هر زیرحوضه در خروجی اش عکس العملی با تابع توزیع دو پارامتری گاما ایجاد می‌کند. درجه یک حوضه مساوی بزرگترین درجه جریان موجود در حوضه است و برای حوضه‌ای با درجه ۲، تعداد مسیرها برابر 1-2Ω است. بنابراین یک حوضه با درجه Ω، به 1-2Ω زیر حوضه، برطبق مسیر جریان تقسیم می‌شود. مدل ارائه شده در دو حوضه در چین بکار گرفته شد و نتایج نشان داد که این مدل یک روش منطقی برای به دست آوردن تابع عکس العمل حوضه است. خالقی و همکاران (۱۱) در تحقیقی مدل های SCS، روسو، اشنایدر، مثلثی و مدل هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی در حوضه کسلیان به کار گرفتند. مقایسه هیدروگراف های مشاهداتی و محاسباتی مدل ها نشان داد که مدل ژئومورفولوژی در مقایسه با مدل های دیگر مقدار دبی اوج و زمان اوج را بهتر تخمین می‌زند. همچنین این مدل عملکرد بالایی در شبیه سازی رواناب و هیدروگراف ها نشان می‌دهد. ساهو و همکاران<sup>۳</sup> (۱۶) در تحقیقی یک هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی بر مبنای مدل های کلارک<sup>۴</sup> (۸) و نش<sup>۵</sup> (۱۹) توسعه دادند. نتایج این مقایسه نشان داد که هیدروگراف های مشاهداتی با دقت قابل قبولی بوسیله GIUH بر مبنای مدل های نش و کلارک برآورد می‌شوند. لی و چانگ<sup>۶</sup> (۱۲) مکانیسم جریان زیر سطحی را در مدل سازی هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی دخیل ساختند. آنها موج سینماتیک را برای برآورد مقادیر اصلی بازه زمانی توزیع‌های احتمالاتی جریان در نواحی سطحی و کانال ها مورد استفاده قرار دادند و قانون دارسی را در محدوده زمانی رواناب برای برآورد جریان زیر سطحی بکار گرفتند. محمودی و همکاران (۲) در تحقیقی با هدف بررسی نقش عوامل و اشکال ژئومورفولوژیکی در ویژگی های سیلاب، مدل GIUH را در حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کارایی مدل GIUH در برآورد شکل کامل هیدروگراف بدلیل وجود اشکال خاص ژئومورفولوژی مانند چاله ها، درز و شکاف های آهکی و تکنوتیکی در حوضه مورد مطالعه و روابط پیچیده آنها با ویژگی های بارش، مورفومتری و آبهای سطحی و زیرزمینی،

کاهش یافته است. در حالی که کارایی آن در برآورد دبی پیک سیلاب نسبتاً مناسب بود. همچنین نتایج مدل مذکور در رگبارهای مختلف متفاوت بود و روند ثابتی را نشان نمی‌داد. عرفانیان (۱) در تحقیق خود درحوضه آبخیز سمنان، با بسط تئوری های هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژیکی و ژئوکلیماتیک، روابط ریاضی تعیین شکل واکنش هیدروولوژی حوضه با رتبه سه تا پنج به صورت تابعی از مشخصات بارندگی، پارامتر دینامیکی سرعت جریان و نسبت های ژئومورفولوژیکی هورتون بدست آورد. نورانی و همکاران (۳) در تحقیقی مدل GUHCR را برای تعیین هیدروگراف واحد لحظه ای ارائه دادند. در این مدل برخلاف مدل GIUH ارائه شده توسط لویز و همکاران<sup>۷</sup> (۱۳) که یک مقدار ثابت به عنوان ضریب ذخیره برای تمام مخازن معرف زیرحوضه ها توسط واسنجی اختیار می‌کند، با دخالت دادن ژئومورفولوژی زیرحوضه ها، پارامتر مخزن مورد استفاده در مدل برای هر مخزن متفاوت می‌باشد. این مدل توانایی پوشش تغییرات پارامتر تأخیر زیرحوضه ها را دارد. نتایج نشان داد که صحت عمل مدل GUHCR از مدل کلاسیک نش بیشتر بوده و پدیده بارش- رواناب را بهتر شبیه سازی می‌کند. هدف این تحقیق کاربرد مدل هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی مخزن<sup>۸</sup> (GUHR) بر پایه مفهوم مخازن خطی آبخیزی و مقایسه نتایج آن با هیدروگراف های مشاهداتی در حوضه لبقوان می‌باشد.

## مواد و روش ها

### مدل GUHR

در این مدل سطوح شبکه زهکشی حوضه به صورت مخازن خطی آبخیزی در نظر گرفته می‌شود. تعداد و اندازه این مخازن بر مبنای زیرحوضه ها در طول شبکه زهکشی حوضه لحاظ می‌شود. بر طبق نظر چاو و همکاران<sup>۹</sup> (۷) حجم ذخیره مخزن  $S(t)$ ، با ضریب ذخیره  $K$  به صورت خطی به خروجی،  $Q(t)$ ، مرتبط می‌شود.

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

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

1. Pena et al.
2. Jin
3. Sahoo et al.
4. Clark
5. Nash
6. Lee and chang

7. Lopez et al.
8. Geomorphological Unit Hydrograph of Reservoir
9. Chow et al.

$$\begin{aligned}
 (KD + 1)Q_n(t) &= R_n(t) \\
 - Q_n(t) + (KD + 1)Q_{n-1} &= R_{n-1}(t) \\
 &\vdots \\
 - Q_{i-1}(t) + (KD + 1)Q_i(t) &= R_i(t) \\
 &\vdots \\
 - Q_3(t) + (KD + 1)Q_2(t) &= R_2(t) \\
 - Q_2(t) + (KD + 1)Q_1(t) &= R_1(t)
 \end{aligned} \tag{۵}$$

در اینجا:  $Q_i(t) = \sum_{j=1}^p Q_{i,j}(t)$  ،  $R_i(t) = \sum_{j=1}^p R_{i,j}(t)$  و  $p$  تعداد زیر حوضه‌های درجه  $i$  است. این معادلات، مطابق نظر سینگ<sup>۱</sup> (۱۷)، (۱۷)، ارتباط سری مخازن را نشان می‌دهد. جهت کاربرد این مدل برای استخراج هیدروگراف واحد فرض‌های زیر در نظر گرفته می‌شود:

- بارش موثر به نسبت ثابت و به صورت یکنواخت در سطح حوضه توزیع می‌شود.
- $R_T(t)$  که حجم تجمعی شدت بارش موثر در تمام سطح حوضه می‌باشد برای یک فاصله زمانی  $\Delta t$ ، واحد است. بنابراین می‌توان هیدروگراف واحد در زمان  $\Delta t$  را استخراج نمود. عمق بارش موثر سطح هر زیر حوضه،  $R_i(t)$  به مساحت زیر حوضه،  $A_i$  و مساحت حوضه،  $A_T$  بستگی دارد:

$$R_i(t) = \frac{A_i}{A_T} R_T(t) \tag{۶}$$

که در آن:

$$\begin{aligned}
 R_T(t) &= \frac{1}{\Delta t} \dots \dots \dots 0 \leq t \leq \Delta t \\
 R_T(t) &= 0 \dots \dots \dots t > \Delta t
 \end{aligned}$$

معادله (۵) از طریق انتگرال گیری حل می‌شود (۱۳). معادله هیدروگراف واحد برای یک بارش موثر در زمان  $\Delta t$  به صورت زیر خواهد بود. برای  $0 \leq t \leq \Delta t$  داریم:

$$Q_1(t) = \frac{1}{\Delta t} \left[ 1 - \frac{e^{-\frac{t}{K}}}{A_T} \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(i-1)!} \left[ \frac{t}{K} \right]^{i-1} \sum_{j=1}^n A_j \right] \right] \right] \tag{۷}$$

برای  $t > \Delta t$  خواهیم داشت:

$$Q_1(t) = \frac{1}{\Delta t} \left[ \frac{e^{-\frac{t-\Delta t}{K}}}{A_T} \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(i-1)!} \left[ \frac{t-\Delta t}{K} \right]^{i-1} \sum_{j=1}^n A_j \right] \right] + 1 - \frac{e^{-\frac{t}{K}}}{A_T} \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(i-1)!} \left[ \frac{t}{K} \right]^{i-1} \sum_{j=1}^n A_j \right] \right] \right] \tag{۸}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dS(t)}{dt} &= I(t) - Q(t) \\
 K \frac{dQ(t)}{dt} + Q(t) &= I(t)
 \end{aligned} \tag{۲}$$

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.

$$(KD + 1)Q(t) = I(t) \tag{۳}$$

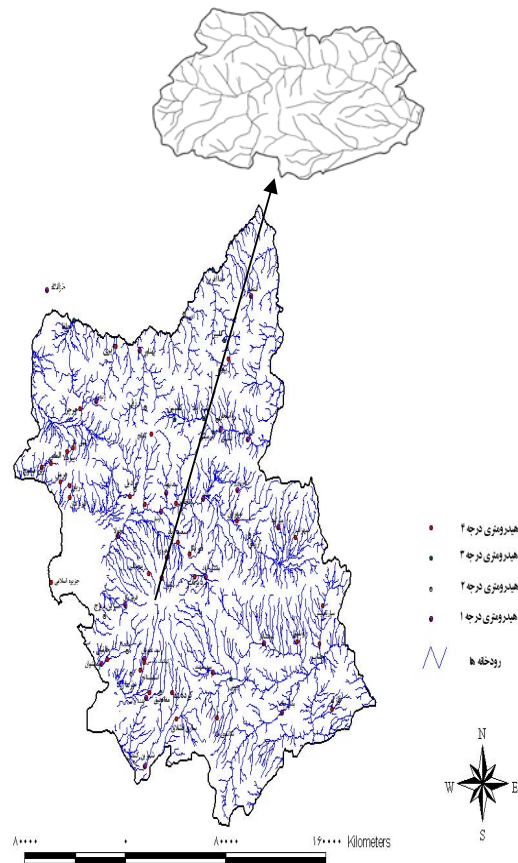
هورتون (۹) اولین کسی بود که معیاری را برای درجه بندی آبراهه‌ای برحسب چینش آبراهه‌ها در حوضه ارائه کرد. سیستم درجه بندی هورتون بعدها توسط استراهلر<sup>۱</sup> (۱۸) تکمیل شد. سیستم درجه بندی لوپز و همکاران (۱۳) عکس درجه بندی هورتون می‌باشد (درجه بندی از خروجی به بالا دست)، که با دو شاخص زیر بیان می‌شود:

- شاخص اول از یک درآبراهه خروجی شروع شده و به سمت بالا دست افزایش می‌یابد و درجه کانال یا زیرحوضه را نشان می‌دهد.
- شاخص دوم برای کانالهایی با درجه مشابه به کار می‌رود.

حداکثر درجه آبراهه‌های حوضه که همان درجه حوضه می‌باشد، به جزئیات شبکه زهکشی حوضه بستگی دارد. معادله (۳) برای هر مخزن به کار گرفته می‌شود و با به کارگرفتن معادلات آبراهه‌های هم درجه معادلات یک سیستم واحد به دست می‌آید. در این معادله،  $I(t)$  ورودی شامل بارش موثر به هر زیر حوضه با درجه  $i$  یعنی  $R_i(t)$  دبی خروجی از مخزن یا زیرحوضه بالا دست یعنی  $Q_{i-1}(t)$  می‌باشد. 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 می‌شود. مجموعه روابط دیفرانسیلی (۴) برای مخازن متوالی به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}
 (KD + 1)Q_5 &= R_5 \\
 - Q_5 + (KD + 1)Q_4 &= R_4 \\
 - Q_4 + (KD + 1)Q_3 &= R_3 \\
 - Q_3 + (KD + 1)Q_2 &= R_2 \\
 - Q_2 + (KD + 1)Q_1 &= R_1
 \end{aligned} \tag{۴}$$

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



شکل ۱- موقعیت حوضه ليقوان در سطح استان آذربايجان شرقی

شکل (۱) موقعیت جغرافیایی این حوضه را در سطح استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد. مساحت حوضه ليقوان تا ایستگاه هیدرومتری (نقطه خروجی) ۷۶ کیلومتر مربع است. مرتفع ترین نقطه حوضه با ارتفاع ۳۵۹۶ متر از سطح دریا در جنوب شرق آن و پایین ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۱۴۰ متر از سطح دریا در محل ایستگاه هیدرومتری قرار گرفته است. طول شاخه اصلی رودخانه تا خروجی ۱۷ کیلومتر و شیب متوسط حوضه ۱۱ درصد است.

#### ارزیابی مدل

جهت بررسی عملکرد مدل از معیارهای زیر استفاده شد:

- بازده مدل با معیار نش- ساتکلیف

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^m [Q_{t,Obs} - Q_{t,Sim}]^2}{\sum_{t=1}^m [Q_{t,Obs} - \bar{Q}_{Obs}]^2} \quad (10)$$

$Q_{t,Obs}$  و  $Q_{t,Sim}$  به ترتیب مقادیر دبی محاسباتی و دبی مشاهداتی در زمان  $t$ ;  $\bar{Q}_{Obs}$  و  $\bar{Q}_{Sim}$  به ترتیب

#### تخمین پارامتر K در مدل GUHR

در مدل GUHR، K با استفاده از زمان بین مراکز ثقل هیدروگراف رواناب مستقیم (DRH) و هیتوگراف بارش موثر (ERH) از رابطه زیر به دست می‌آید (۱۳):

$$K = \frac{A_T [t_{DRH} - t_{ERH}]}{\sum_{i=1}^n i A_i} \quad (9)$$

#### معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبخیز ليقوان یکی از حوضه های آجی چای بوده و در دامنه شمالی کوه های سهند، در جنوب شرق شهر تبریز واقع شده است. این حوضه از نظر مختصات جغرافیایی در طول جغرافیایی  $38^{\circ} 25' 26''$  و عرض جغرافیایی  $46^{\circ} 23' 19''$  قرار دارد. از سال ۱۳۵۰، حوضه ليقوان به عنوان حوضه معرف انتخاب گردیده و مجهز به ادوات هیدروکلیماتولوژی شده است.

بارش جریان ساز حاصل شوند. هیدروگراف های واحد مشاهداتی با کاربرد روش کانولوشن روی هیتوگراف های بارش جریان ساز و هیدروگراف های رواناب مستقیم مربوطه استخراج گردیدند (۷). در مرحله بعد پارامتر K مدل GUHR از معادله (۹) برای هر رویداد محاسبه شد و بر مبنای K های حاصل شده بازه معینی مشخص شده و با روش سعی و خطا (کالیبراسیون) K های بهینه با حداقل نمودن خطای بین هیدروگراف های واحد حاصل از مدل و هیدروگراف های واحد مشاهداتی تعیین گردید. هیدروگراف های سیلاب محاسباتی حوضه با استفاده از برنامه‌ی کامپیوتری حاوی محاسبات هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی و روش کانولوشن که در محیط فرترن تدوین شده، به می آید. جدول (۱) پارامتر K را برای هر رویداد از روش گشتاور و روش سعی و خطا نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر پارامتر K از دو روش سازگاری نزدیکی با هم دارند. شکل (۴) مقایسه هیدروگراف های حاصل از مدل GUHR با هیدروگراف های مشاهداتی را برای رویدادهای بارش - رواناب نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی هیدروگراف های شبیه سازی شده مدل برای هر رویداد در جداول (۳) و (۴) آورده شده است.

از مقایسه هیدروگراف های استخراج شده از مدل با هیدروگراف های مشاهداتی متناظر و با توجه به جداول (۳) و (۴) ملاحظه می‌شود GUHR در شبیه‌سازی بازوهای هیدروگراف اختلاف کمی را با مقادیر مشاهده‌ای نشان می‌دهد. این مدل زمان رسیدن به دبی اوج را کمتر و مقدار دبی اوج را بسیار نزدیک به مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد. در مرحله بعد پارامتر K منحصر به فرد حوضه از میانگین K های بهینه رویدادها محاسبه شد. مقدار K بهینه متوسط ۳۳ دقیقه به دست آمد. به ازای K متوسط، بهینه هیدروگراف های سیلاب تعیین و برای هر رویداد با هیدروگراف سیلاب مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۵). همان‌طور که ملاحظه می‌شود تطابق خوبی بین مشاهدات مدل حاصل شده است.

#### ▪ درصد خطای دبی اوج

$$E_{Q_p} = \frac{Q_{p,Sim} - Q_{p,Obs}}{Q_{p,Obs}} \times 100 \quad (11)$$

#### ▪ درصد خطای زمان رسیدن به دبی اوج

$$E_{T_p} = \frac{T_{p,Sim} - T_{p,Obs}}{T_{p,Obs}} \times 100 \quad (12)$$

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

### نتایج و بحث

به منظور استخراج هیدروگراف واحد از مدل لوپز و همکاران (۱۳)، ابتدا زیر حوضه های آبراهه‌ها در نقشه  $\frac{1}{25000}$  محدود و مساحت مربوط به هر زیر حوضه تعیین شد سپس بر اساس درجه بندی لوپز و همکاران (۱۳)، آبراهه‌های حوضه لیقوان درجه بندی گردید. درجه‌بندی آبراهه‌های حوضه در شکل (۲) و مدل مخازن مفهومی حوضه در شکل (۳) آورده شده است. با توجه به محدودیت داده‌های همزمان بارش و رواناب از چهار رویداد جهت مقایسه بین هیدروگراف های شبیه‌سازی شده توسط مدل و هیدروگراف های مشاهداتی استفاده شد. از این تعداد، سه رویداد جهت استخراج مدل و یک رویداد جهت صحت سنجی مدل به کار گرفته شد. هیدروگراف های رواناب مستقیم با کسر دبی پایه ثابت از هریک از هیدروگراف های مشاهداتی تعیین و از طریق آنها شاخص  $\Phi$  برای هر یک از رویدادهای بارش محاسبه (جدول ۳) و از هیتوگراف مشاهداتی مربوطه کسر گردید تا هیتوگراف های

جدول ۲- محاسبه پارامتر مدل GUHR از روش گشتاورها و سعی و خطا

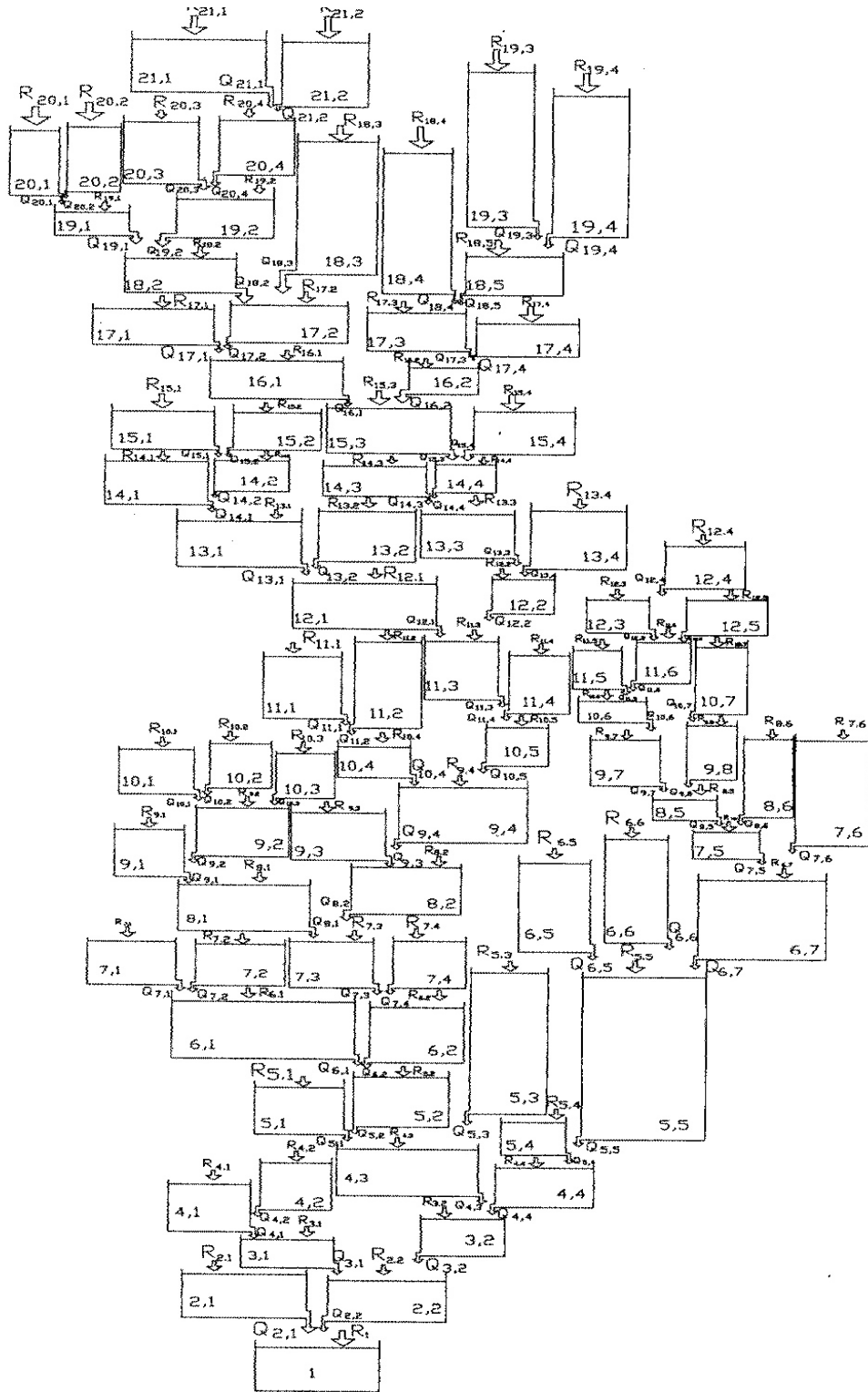
تاریخ رویداد	K (min) (روش گشتاور)	K (min) (روش سعی و خطا)
۱۳۸۲/۱/۱۹	۱۵	۲۵
۱۳۸۲/۳/۲۱	۲۲	۲۵
۱۳۸۳/۲/۴	۳۴	۴۵

جدول ۳- مقادیر زمان و دبی اوج به دست آمده از مدل برای رویدادهای مورد بررسی

تاریخ رویداد	شاخص $\Phi$	زمان اوج (ساعت)	دبی اوج ( $m^3/s$ )
		مشاهده‌ای	GUHR
۸۲/۱/۱۹	۵/۴۷	۳/۷۵	۵/۲۹
۸۲/۳/۲۱	۸/۳	۳/۵	۳/۷۳
۸۳/۲/۴	۶/۱	۶	۱/۹



شکل ۲- درجه بندی آبراهه ها و سطوح تغذیه آبراهه های حوضه لیقوان

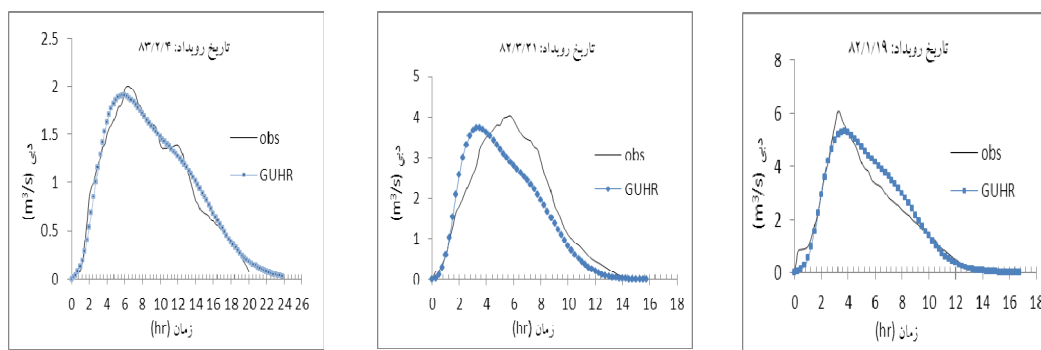


شکل ۳- نمایش مدل مخازن مفهومی حوضه لیقوان

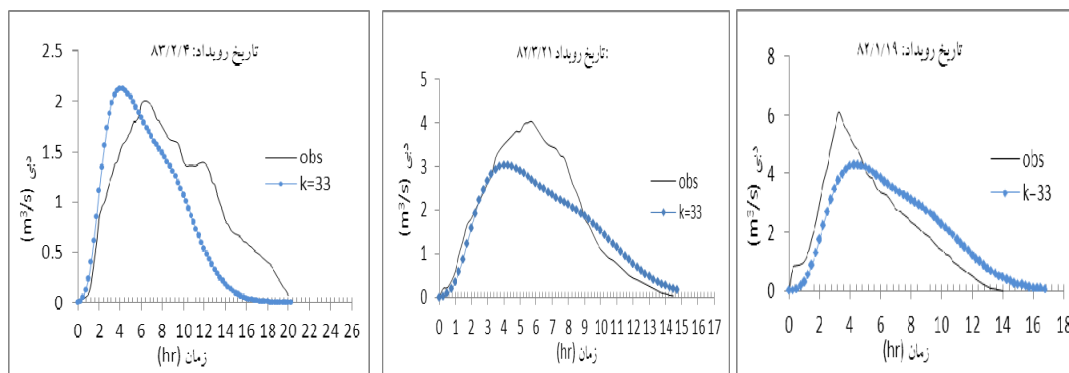
جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل GUHR

معیارهای ارزیابی			تاریخ رویداد
$E^T$	$\%Q_p^1$	$\%T_p^2$	
۰/۹۳	-۱۲/۸۵	۱۵/۳۸	۸۲/۱/۱۹
۰/۸	-۷/۴۴	-۳۹/۱	۸۲/۳/۲۱
۰/۹۷	-۴	-۱۱/۱۱	۸۳/۲/۴

۱. مقادیر منفی  $Q_p$  نشان می‌دهند که مقادیر محاسباتی کمتر از مشاهداتی است.
۲. مقادیر منفی و مثبت  $T_p$  نشان می‌دهند که مدل زمان رسیدن به دبی اوج را به ترتیب زودتر و دیرتر از زمان مشاهداتی پیش‌بینی کرده است.
۳. بازده مدل با معیار نش- ساتکلیف



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

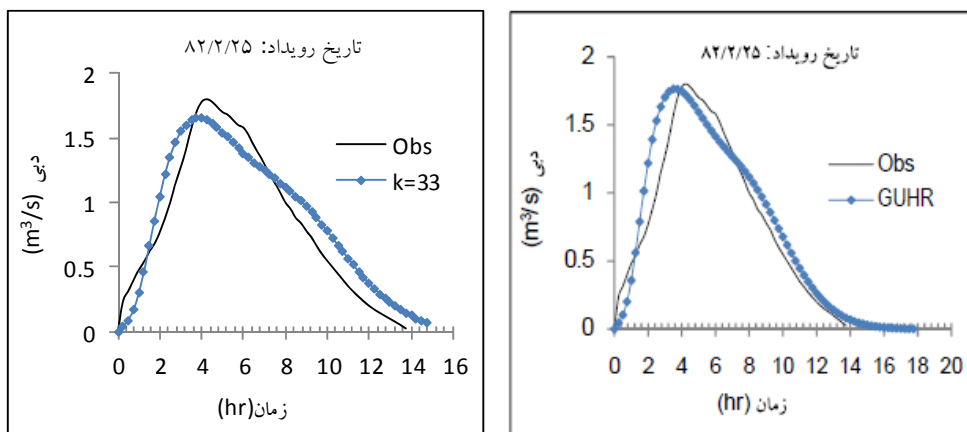


۵- مقایسه هیدروگراف‌های مدل GUHR به ازای K متوسط بهینه و هیدروگراف‌های متناظر مشاهداتی



جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل GUHR بازای K متوسط بهینه

معیارهای ارزیابی				تاریخ واقعه
$\%T_p$	$\%Q_p$	E	$R^2$	
-۳۸/۴۶	-۲۹/۵	۰/۷۳	۰/۷۳	۸۲/۱/۱۹
-۱۱/۷۶	-۸/۳	۰/۹۷	۰/۹	۸۲/۲/۲۵
-۳۰/۴۳	-۲۵/۱۶	۰/۸۱	۰/۹	۸۲/۳/۲۱
-۳۲	۶	۰/۵۶	۰/۶۸۶	۸۳/۲/۴



شکل ۶- نمودار مرحله صحت سنجی مدل

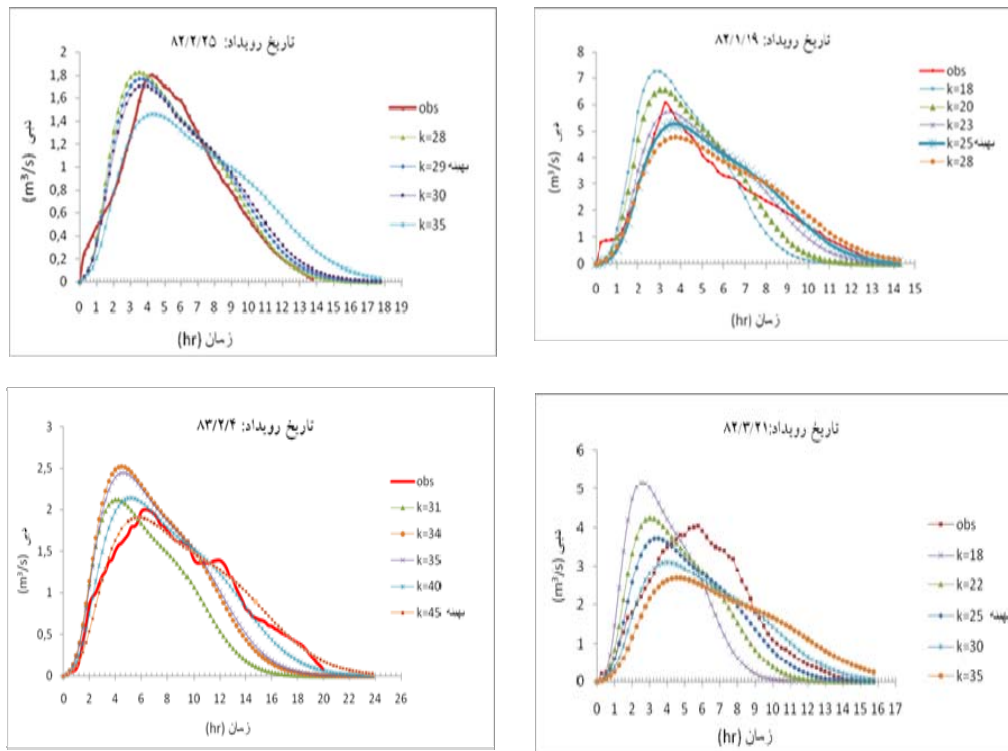
جدول ۶- نتایج مرحله صحت سنجی مدل GUHR

معیارهای ارزیابی		دبی اوج ( $m^3/s$ )	زمان اوج (ساعت)	K(min) (روش سعی و خطا)	K(min) (روش گشتاور)	شاخص $\Phi$	تاریخ رویداد
$\%T_p$	$\%Q_p$	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	GUHR R	GUHR R		
-۱۷/۶	-۲/۲	۱/۸	۴/۲۵	۱/۷۶	۳/۵	۱۱/۶	۸۲/۲/۲۵

**حساسیت سنجی مدل GUHR نسبت به پارامتر K**

پارامتر K در مدل GUHR به زمان پاسخ حوضه به بارندگی بستگی دارد. این پارامتر در بسیاری از روش‌ها به عنوان مشخصه ثابت حوضه در نظر گرفته می‌شود اما چنین فرضی به طور کامل صحیح نیست (۱۶). زیرا زمان پاسخ حوضه، یک مشخصه دینامیکی است که ممکن است به وسیله بارش تحت تأثیر قرار بگیرد. بنابراین حساسیت این مدل نسبت به تغییر پارامتر K باید مورد ارزیابی قرار گیرد. هیدروگراف های سیلاب مدل GUHR به ازای مقادیر مختلف K مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این بررسی در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با تغییر پارامتر K تغییرات زیادی

سپس با استفاده از یک رویداد، مدل مورد صحت-سنجی قرار گرفت. نتایج آن در جدول (۶) و شکل (۶) آورده شده است. مقدار ضریب همبستگی و بازه برای این رویداد به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۱ می‌باشد که نشان دهنده کارایی بالای مدل می‌باشد. به منظور حصول اطمینان از قابلیت کاربرد K متوسط بهینه 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 (شکل ۶). باتوجه به جدول (۵) مقدار ضریب همبستگی و بازه به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۷ می‌باشد. بنابراین مقدار ۳۳ دقیقه را با دقت قابل قبولی می‌توان به عنوان K متوسط حوضه لیقوان در نظر گرفت.



شکل ۷- نمودار حساسیت هیدروگراف های سیلاب به ازای مقادیر مختلف K (مدل GUHR)

۲- روش GUHR زمان رسیدن به دبی اوج را زودتر از زمان مشاهده شده پیش بینی می‌کند.  
 ۳- از مقایسه هیدروگراف‌های سیلاب مدل به ازای K متوسط بهینه و هیدروگراف‌های مشاهده‌ای رویدادها، همچنین نتایج صحت سنجی مدل می‌توان نتیجه گرفت که K متوسط بهینه حاصل را می‌توان به عنوان K متوسط حوضه در نظر گرفت.  
 ۴- با تغییر پارامتر K، تغییرات زیادی در میزان دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج و شکل کلی هیدروگراف مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت هیدروگراف‌های واحد به تغییر پارامتر K حساس می‌باشند. با این وجود برای هر رویداد می‌توان محدوده وسیعی از K که در آن بازده قابل قبولی به دست آید، ارائه نمود.

در میزان دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج و همچنین شکل کلی هیدروگراف ایجاد می‌شود. با کاهش مقدار K، میزان دبی اوج افزایش و زمان رسیدن به دبی اوج کاهش می‌یابد و بالعکس. بنابراین می‌توان گفت هیدروگراف‌های واحد به مقدار بسیار زیادی به تغییر پارامتر K حساس می‌باشند که منطقی به نظر می‌رسد؛ چون این مدل فقط به پارامتر K بستگی دارد (۱۳). با این وجود برای هر رویداد می‌توان محدوده وسیعی از K را که در آن بازده قابل قبولی به دست می‌آید، ارائه نمود (۵).

### نتیجه‌گیری

۱- با توجه به اینکه متوسط درصد خطای دبی اوج ۸ درصد می‌باشد می‌توان گفت مدل GUHR پیش بینی کننده خوبی برای دبی اوج می‌باشد.

### منابع

- عرفانیان، م. ۱۳۷۷. بررسی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و ژئومورفوکلیماتولوژی در حوضه آبخیز در جزین سمنان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- محمودی، ف.، یمانی، م. و ش. بهرامی. 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 آنمود واحد ژئومورفولوژیکی بر پایه مخازن خطی آبخیز در محیط GIS. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، سال ۴، شماره ۳.

4. Adib, A., Salarijazi, 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.
5. 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.
6. 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.
7. Chow, V. T., Maidment, D. R. and L. W. Mays. 1988. *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York, USA.
8. Clark, C. O. 1945. Storage and the unit hydrograph, *SOC. Civil Engineering*, 110: 1419-1449.
9. Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to qantative morphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 56: 281-283.
10. Jin, C. X. 1992. A deterministic gamma geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types. *Water Resources Research*, 28: 479-486.
11. Khaleghi, 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.
12. Lee, K. T. and Ch. H. Chang. 2005. Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology-based IUH modeling. *Journal of Hydrology*, 311: 91-105.
13. 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.
14. 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.
15. Rodriguez-Iturbe, I. and J. B. Valdes. 1979. The geomorphologic structure of the hydrologic response. *Water Resources Research*, 15(6): 1409-1420.
16. 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.
17. Singh, V. P. 1988. *Hydrologic systems: rainfall- runoff modeling*. Prentic Hall, NJ.
18. Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*, ed. By Chow, McGrow- Hill, New york.
19. Nash, J. E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph, *IASH publ*, 42: 114-118.