

برآورد رواناب با استفاده از مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوضه دریان چای)

فریبا کرمی^۱

مرضیه اسمعیل پور^۲

چکیده

در سال‌های اخیر مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی جهت تخمین رواناب حوضه در نتیجه الگوهای مختلف رگبار مقبولیت گسترده‌ای کسب کرده است. استفاده از خصوصیات ژئومورفولوژی معیار مناسبی جهت استخراج هیدروگراف و مدیریت حوضه‌ها در حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری است. در این پژوهش با استفاده از خصوصیات مورفومتری حوضه آبریز دریان چای مانند نسبت انشعاب و طول بلندترین آبراهه هیدروگراف واحد ژئومورفولوژی حوضه را برای پنج رویداد بارش - رواناب استخراج کردیم و با استفاده از معیارهایی مانند ضریب تعیین، درصد خطای مربوط به پیش‌بینی دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج و ضریب بازده نش- ساتکلیف و درصد خطای حجم رواناب با هیدروگراف مشاهداتی مورد مقایسه قرار دادیم. مهم‌ترین پارامترهای یک هیدروگراف زمان اوج و دبی اوج است. نتایج نشان می‌دهند که اختلاف کمی بین زمان اوج شبیه‌سازی شده با استفاده از هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و مقادیر مشاهداتی وجود دارد. به عبارت دیگر هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی پیش‌بینی بهتری از زمان اوج به دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: هیدروگراف واحد؛ مورفومتری حوضه؛ معیار ارزیابی؛ حوضه دریان چای

مقدمه

پدیده سیل یکی از عمده‌ترین مسائل بحرانی جوامع بشری و محیط زیست، و از عوامل بازدارنده برنامه‌های توسعه به‌شمار می‌آید. غالب روش‌های برآورد دبی سیل صرفاً از دیدگاه هیدرولوژی بوده، مبتنی بر داده‌های بارش- رواناب هستند. تعداد حوضه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری زیاد نیست و بر این اساس غالب حوضه‌ها فاقد چنین داده‌هایی هستند. پدیده سیل در هر حوضه بستگی به واکنش‌های هیدرولوژیکی و نواحی بالادست آن دارد. حوضه‌های دارای الگوی متفاوت از نظر دامنه‌ها و شبکه هیدرولوژی در برابر یک رگبار معین مقادیر رواناب متفاوتی تولید می‌کنند (محمودی، ۱۳۸۳: ۱۲).

کشور ایران به‌عنوان دومین کشور بزرگ خاورمیانه، تقریباً ۸۷٪ آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است (رنگور^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). متوسط بارش سالانه ایران ۲۴۰ میلی‌متر است. مطالعات اخیر در ایران نشان می‌دهد که حجم کل بارش سالانه تقریباً ۴۳۰ میلیارد مترمکعب است که بیشتر از ۲۰ درصد آن به وسیله سیلاب‌های ناگهانی از دست می‌روند. از این‌رو مدیریت سیلاب حوضه‌ها از موضوعات ضروری محسوب می‌شود..

به‌دلیل کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری و بالا بودن هزینه ساخت و نگهداری آن، اطلاعات کافی در مورد هیدروگراف سیل و دبی جریان رودخانه در اکثر حوضه‌های ایران وجود ندارد. از طرفی در کارهای مهندسی منابع آب و ساماندهی رودخانه تعیین دبی سیلاب امری بسیار ضروری است. مدل‌های بارش- رواناب از جمله روش‌هایی هستند که قادر به پیش‌بینی و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب ناشی از هر بارش می‌باشند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به هیدروگراف واحد، هیدروگراف واحد لحظه‌ای، هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی و روش زمان سطح اشاره کرد. این مدل‌ها بر اساس پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژیکی پیک سیلاب را محاسبه می‌کنند (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۰).

از مهم‌ترین قدم‌هایی که در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژی و تهیه هیدروگرافها برداشته شده‌اند، مفهوم هیدروگراف واحد (Unit Hydrograph) است که اولین بار در سال ۱۹۳۲ یک مهندس آمریکایی به نام شرمین پیشنهاد کرد. بر حسب تعریف هیدروگراف واحد، هیدروگرافی است که ارتفاع رواناب در آن به اندازه یک واحد طول باشد. در تعریف هیدروگراف واحد لازم است مدت بارندگی نیز مشخص باشد. در روشی که به نام هیدروگراف واحد لحظه‌ای (Instantaneous Unit Hydrograph) پیشنهاد شده است، اثر زمان از بین رفته و برای حوضه یک هیدروگراف واحد ساخته می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵: ۵۶۵).

ابعاد هیدروگراف واحد در یک نقطه از شبکه زهکشی به عنوان پاسخ حوضه به یک رویداد بارندگی فرایند پیچیده‌ای است که به خصوصیات بارش و مشخصات حوضه آبریز بستگی دارد. در دهه‌های گذشته مطالعات زیادی در مورد درک این فرایند در حوضه‌های مختلف انجام گرفته است. از جمله مدل‌های توسعه یافته در این زمینه مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی است که رودریگز-ایتورب و والدز به عنوان واکنش حوضه آبریز نسبت به ورود یک واحد بارش مازاد لحظه‌ای ارائه کرده است (غلامی صومعه و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۳).

در این راستا، در این پژوهش برای برآورد رواناب حوضه آبریز دریاچای در دامنه جنوبی میشوداغ (کوه میشو) از مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی (GIUH) استفاده کردیم و نتایج آن را با هیدروگراف مشاهداتی حوضه بررسی کردیم. در صورت دقت بالای پیش‌بینی رواناب در این حوضه، مدل مزبور در برآورد میزان هیدروگراف سیل در سایر حوضه‌های مجاور که فاقد ایستگاه هیدرومتری هستند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این صورت در سایر حوضه‌های مجاور دریاچای در حاشیه دریاچه ارومیه که فاقد آمار هستند، یا حوضه‌هایی که آمار بارش و رواناب همزمان در آنها ثبت نشده است، می‌توان با استفاده از روابط بدست آمده براساس خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه‌ها، رواناب ناشی از رگبار را در یک حوضه برآورد کرد.

تئوری هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیک را رودریگز و والدس^۱ (۱۹۷۹) و رودریگز و ایتورب و همکارانش (۱۹۸۲) معرفی کردند. در این مدل، زمان پیمایش یک قطره باران که تصادفی بر روی حوضه نازل می‌شود، انتقال، آن به سمت خروجی حوضه برای مدل‌بندی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی حوضه مورد استفاده واقع می‌شود. مطالعات زیادی با استفاده از این مدل انجام شده برای مثال، سورمن^۲ (۱۹۹۵) از مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفوکلیماتیک برای برآورد حجم، دبی و زمان اوج هیدروگراف خروجی در حوضه‌های آبریز واقع در شمال شرق عربستان برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۵ تا ۱۰ ساله استفاده کرد و نتایج این بررسی همبستگی بالایی را بین اجزای مدل نشان داد.

کودنس^۳ و همکاران (۲۰۰۴) در یک تحقیق رابطه بین پارامترهای ژئومورفولوژیک و هیدروگراف واحد از طریق توزیع پارامتری گاما را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بین پارامترهای ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و پاسخ هیدروولوژیک آنی رابطه مستقیمی وجود دارد.

جنا و یتوار^۴ (۲۰۰۶) در غرب ایالت بنگال هند به مدل‌سازی پارامترهای هیدروگراف واحد و متغیرهای ژئومورفولوژیکی دو حوضه اقدام کردند. در این مطالعه پارامترهای هیدروگراف واحد (مانند زمان اوج، زمان

1- Rodriguez-Iturbe and Valdars

2- Sorman

3- Cudennec

4- Jena and Tiwar

پایه و پیک دبی) با پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه‌ها (از قبیل پارامترهای آبراهه‌ها و حوضه) مدل‌بندی شدند. نتیجه تحقیق همبستگی بالای پارامترهای ژئومورفولوژیکی را با پارامترهای هیدروگراف نشان داد.

امیری و محمودی (۲۰۱۲) برای مدیریت حوضه‌های آبریز بخش مرکزی البرز، رودخانه مهران جویستان را با استفاده از روشهای اشنایدر، SCS، مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و مدل مثلثی بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی با میزان خطای کمتر، بهترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای در خروجی حوضه ارائه می‌کند.

کومار^۱ (۲۰۱۴) مدل‌های مختلف هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در حوضه رودخانه رامگانا در هند را با استفاده از آمار ۸ رویداد بارش رواناب بررسی کرد. یکی از مدلها تابعی از شدت باران موثر و مدل دیگر بر اساس مفهوم زمان تمرکز بود. نتایج نشان داد که مدل دوم از نظر دبی اوج و زمان اوج با هیدروگراف‌های مشاهداتی همبستگی بهتری دارد.

زلازینسکی^۲ (۱۹۸۶) در حوضه‌های رودخانه‌ای کوهستان پولیش لهستان، هال و همکاران (۲۰۰۱) در جنوب غرب انگلیس، شاهین^۳ و همکاران (۲۰۰۵) در حوضه فریا فلسطین، چوی^۴ و همکاران (۲۰۰۷) در حوضه یونگوک کره جنوبی و گرمادی^۵ و همکاران (۲۰۱۲) در چهار حوضه آمریکا و یک حوضه ایتالیا از مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی برای پیش‌بینی رواناب استفاده کردند. نتایج مطالعات نشان داد که مدلها همبستگی بالایی با جریان‌های مشاهده شده دارند.

خالقی و همکاران (۱۳۸۹) کارایی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی را در حوضه کسلیان مورد بررسی کردند. ایشان کارایی این مدل را با مدل‌هایی مانند روسو، اشنایدر و مثلثی مقایسه کردند. نتایج مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان داد که مدل ژئومورفولوژی کمترین مقادیر میانگین خطای نسبی و میانگین دوم خطا را دارد و از این روش می‌توان برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب استفاده کرد.

احمدین و همکاران (۱۳۹۰) هیدروگراف واحد لحظه‌ای را در حوضه ليقوان با استفاده از مدل‌های هیبرید و نش استخراج و مورد مقایسه کردند. ایشان از معیارهای ارزیابی خطای استاندارد و نش - ساتکلیف جهت مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی پنج رویداد بارش رواناب استفاده کردند و همچنین نتایج

1- Kumar

2- Zelazinski

3- Shaheen

4- Choi

5- Grimadi

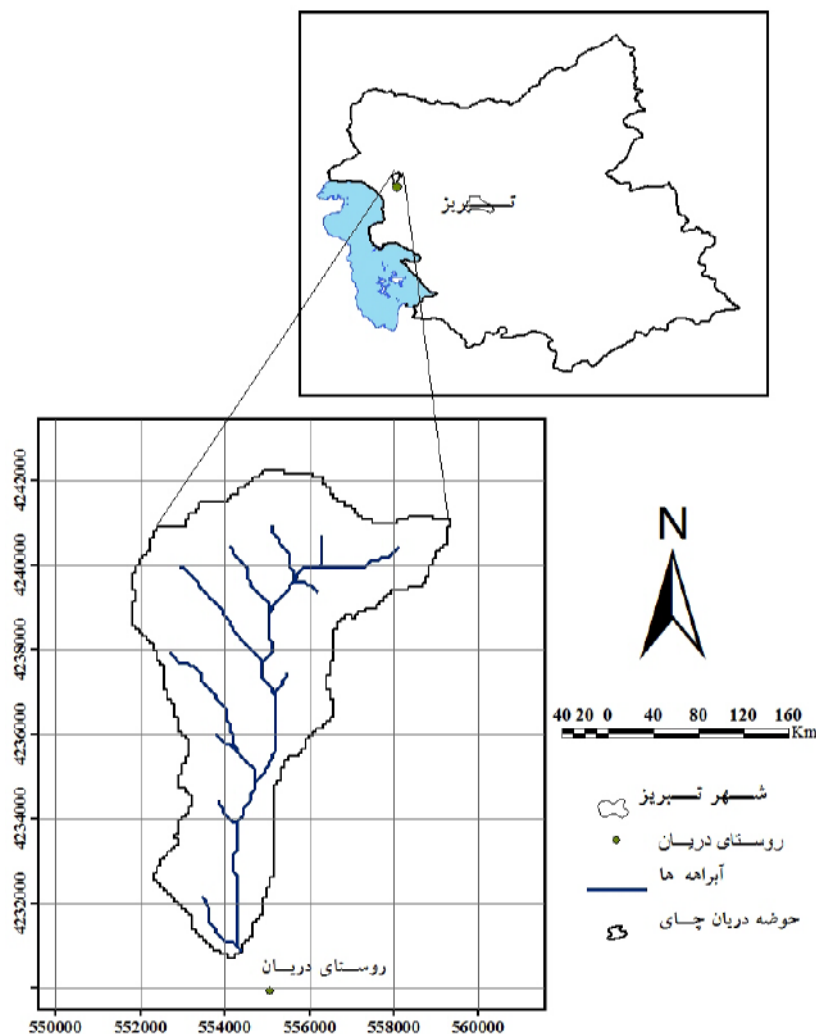
نشان‌دهنده پایین بودن خطای استاندارد و بالا بودن مقدار بازده نش-ساتکلیف می‌باشد که نشان‌دهنده برتری مدل هیبرید نسبت به مدل نش را نشان می‌دهد.

شیرزادی و همکاران (۱۳۹۰) پارامترهای هیدروگراف واحد مصنوعی را در دو حوضه کانی سواران و مانج در سنندج با استفاده از روش اشنایدر استخراج کردند و میان پارامترهای هیدروگراف واحد مصنوعی و پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه ماتریس همبستگی برقرار کردند و از انواع معادلات رگرسیونی جهت همبستگی میان هیدروگراف واحد و هر یک از پارامترهای ژئومورفولوژیکی استفاده کردند. نتایج نشان داد که از بین چند پارامتر ژئومورفولوژیکی مورد بررسی سیزده پارامتر بیشترین ضریب همبستگی با پارامترهای هیدروگراف واحد را دارد. همچنین معادله رگرسیونی چند جمله‌ای بیشترین ضریب تبیین را داشت.

با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در ایران و جهان در زمینه استفاده از خصوصیات ژئومورفولوژی برای استخراج هیدروگراف می‌توان نتیجه گرفت که علی‌رغم رایج بودن این مدل هنوز هم می‌توان با استفاده از معیارهای مختلفی مانند خطای زمان رسیدن به دبی اوج و خطای دبی اوج کارایی این مدل را مورد بررسی قرار داد؛ در پژوهش‌های داخلی و خارجی انجام گرفته این معیارها به چشم نمی‌خورند. از این رو در این پژوهش با هدف بررسی دقت و صحت روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی، در حوضه دریان‌چای از بین رویدادهای بارش - رواناب مختلف رویدادهای همزمان انتخاب شدند و هیدروگراف‌های به‌دست آمده با استفاده از خصوصیات ژئومورفولوژی با هیدروگراف‌های مشاهداتی متناظر مورد مقایسه قرار گرفتند. بررسی کارایی این روش در استخراج هیدروگراف از دیگر اهداف این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دریان‌چای از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است و در شمال شرقی آن قرار دارد. این رودخانه از ارتفاعات ۲۹۷۰، ۲۸۷۳، ۲۸۶۹ می‌شوداگی سرچشمه می‌گیرد و به سمت دریاچه ارومیه جریان می‌یابد. حوضه آبریز مختصات جغرافیایی ۱۹' ۳۸° - ۱۳' ۳۸° عرض شمالی و ۴۱' ۴۶° - ۳۴' ۴۶° طول شرقی می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع پایین‌ترین نقطه حوضه ۱۶۶۵ متر است. در این پژوهش از ایستگاه باران‌سنجی شبستر و ایستگاه هیدرومتری دریان استفاده کردیم. میانگین بارش سالانه درازمدت ایستگاه شبستر، ۳۴۴ میلی‌متر است.



شکل (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دریان چای

استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای از تلفیق نسبت‌های هورتون با مدل NASH

روسو از موسسه هیدرولیک دانشگاه ژنو ایتالیا در سال ۱۹۸۴، با استفاده از مدل گامای دو پارامتری که برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای توسط NASH (۱۹۴۵) ارائه شده بود (رابطه ۱)، استفاده کرد. نسبت‌های طول آبراهه، مساحت آبراهه، نسبت انشعاب و طول آبراهه اصلی که به نسبت‌های هورتون معروف است، با به کارگیری رابطه‌های (۲) و (۳) و برآورد پارامتر شکل (α) و پارامتر مقیاس (k) قابل تخمین است.

پارامتر شکل بستگی به نسبت‌های هورتون دارد. بنابراین ژئومورفولوژی حوضه آبخیز بر شکل هیدروگراف تأثیر دارد. پارامتر مقیاس از ویژگی‌های تغییرات زمانی است به ژئومورفولوژی و سرعت جریان در شبکه آبراهه بستگی دارد.

$$h(t) = (k\Gamma(\alpha))^{-1}(t/k)^{\alpha-1} \exp(-t/k) \quad (۱)$$

$$\alpha = 3.29(R_b/R_a)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (۲)$$

$$k = 0.7(R_a/R_b R_L)^{0.48} v^{-1} L \quad (۳)$$

که در آن:

$h(t)$: ابعاد هیدروگراف واحد لحظه‌ای به ساعت، k پارامتر مقیاس، R_b نسبت انشعاب، Γ پارامتر تابع گاما، t زمان به ساعت، L طول آبراهه اصلی و V سرعت متوسط (متر بر ثانیه) می‌باشد. برای تعیین سرعت جریان، آمار مربوط به دبی و سرعت اندازه‌گیری شده برای هر سال را جمع‌آوری و سپس بهترین خط برازش بین آنها را ترسیم و ضرایب مربوطه را استخراج کردیم. سپس مقادیر دبی اوج هیدروگراف مشاهده‌ای استخراج و با قرار دادن در این معادله سرعت جریان هر رگبار تعیین می‌شود (غیاثی و روغنی، ۱۳۸۵: ۲۷).

معیارهای مورد استفاده برای بررسی کارایی مدل‌ها

به منظور بررسی کارایی مدل‌ها از معیارهایی به شرح زیر استفاده شد:

ضریب تعیین:

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{t=1}^m (Q_{t,Obs} - \bar{Q}_{Obs})(Q_{t,Sim} - \bar{Q}_{Sim}) \right)^2}{\sqrt{\sum_{t=1}^m (Q_{t,Obs} - \bar{Q}_{Obs})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^m (Q_{t,Sim} - \bar{Q}_{Sim})^2}} \quad (۴)$$

ضریب تعیین (رابطه ۴) می‌تواند مقداری بین ۰ تا ۱ را اختیار کند. هر چه مقدار این ضریب به مقدار یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده ارتباط خطی بین داده‌ها است (فاضل مدرس و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۸).

بازده مدل با معیار نش-ساتکلیف:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^m [Q_{t,Obs} - Q_{t,Sim}]^2}{\sum_{t=1}^m [Q_{t,Obs} - \bar{Q}_{Obs}]^2} \quad (۵)$$

این معیار (رابطه ۵) می‌تواند مقداری بین $-\infty$ تا ۱ اختیار کند. هر چه مقدار این معیار به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل است (احمدین و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۵).

که در آن:

متوسط محاسباتی و مشاهداتی برای واقعه مورد نظر و m تعداد گام‌های زمانی هیدروگراف خروجی مورد نظر می‌باشند.

درصد خطای زمان رسیدن به دبی اوج:

$$E_{Tp} = \frac{T_{P,Sim} - T_{P,Obs}}{T_{P,Obs}} \times 100 \quad (۶)$$

درصد خطای دبی اوج:

$$E_p = \frac{Q_{P,Sim} - Q_{P,Obs}}{Q_{P,Obs}} \times 100 \quad (۷)$$

که در آنها $Q_{P,Obs}$ و $Q_{P,Sim}$ به ترتیب مقادیر دبی‌های اوج محاسباتی و مشاهداتی، $T_{P,Obs}$ و $T_{P,Sim}$ به ترتیب زمان‌های رسیدن به این دبی‌ها هستند رابطه‌های ۶ و ۷). هر چه مقدار درصد این خطاها کمتر باشد، به همان میزان نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل‌ها را نشان می‌دهد (نیازی، ۱۳۸۷: ۴۵).

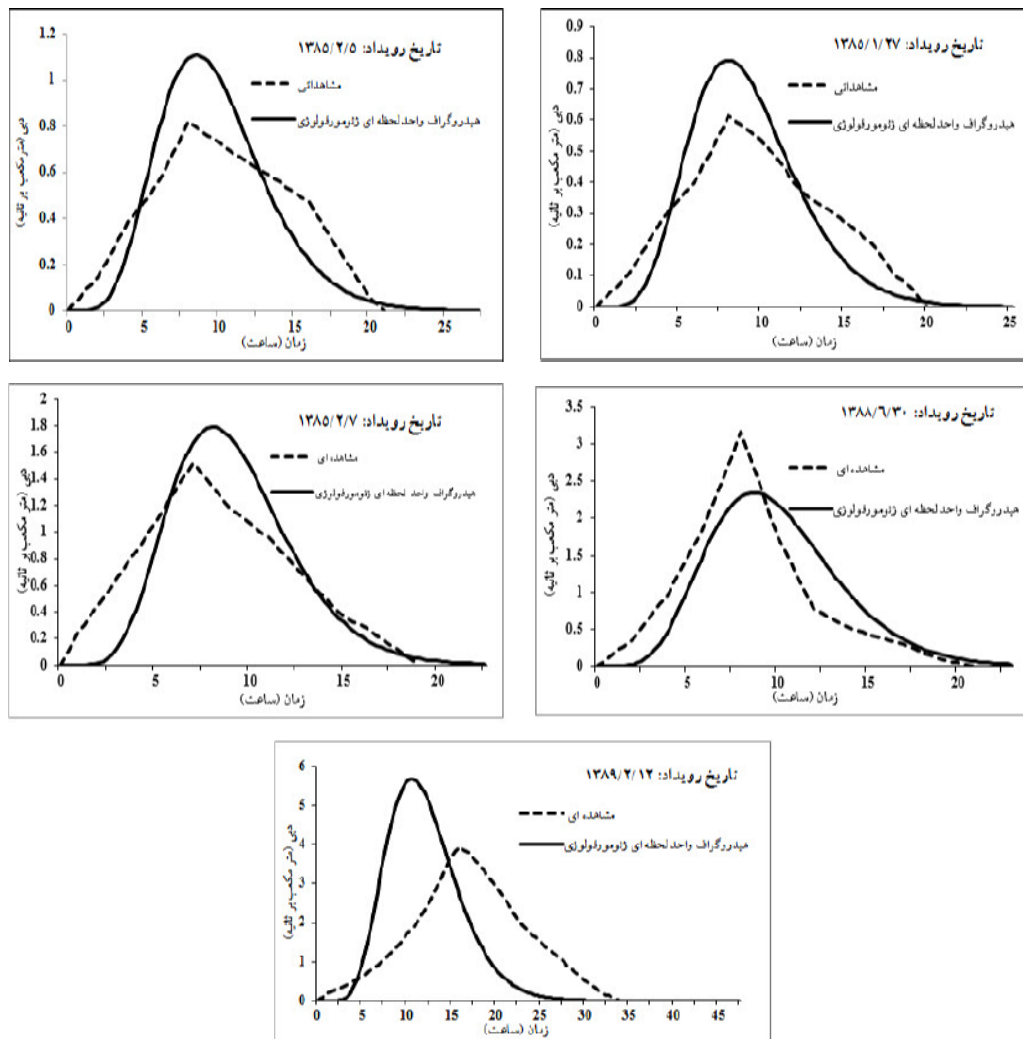
درصد خطای حجم رواناب:

$$E_v = \frac{V_{Sim} - V_{Obs}}{V_{Obs}} \times 100 \quad (۸)$$

در رابطه (۸) آن V_{Obs} و V_{Sim} به ترتیب مقادیر حجم محاسباتی و مشاهداتی هیدروگراف‌های سیلاب برای واقعه مورد نظر هستند (نیازی، ۱۳۸۷: ۴۵).

یافته‌های تحقیق

برای مقایسه انطباق هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با هیدروگراف مشاهداتی متناظر (شکل ۲)، هر دو هیدروگراف برای یک رویداد در یک نمودار ترسیم کردیم. نتایج نشان می‌دهند که به استثنای رویداد چهارم (۱۳۸۸/۶/۳۰) بین مقادیر دبی اوج مشاهداتی و دبی اوج برآورد شده با مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی اختلاف وجود دارد و دبی اوج در این مدل بیشتر از دبی اوج مشاهداتی برآورد شده است. از نظر زمان اوج نیز مدلهای اول، دوم و چهارم، برآورد نزدیکی با زمان اوج مشاهداتی نشان می‌دهد.



شکل (۲) مقایسه هیدروگراف‌های مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و هیدروگراف‌های مشاهداتی متناظر

ارزیابی کارایی مدل‌های به کار رفته

مهم‌ترین مولفه‌های یک هیدروگراف، دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج است. بر این اساس دو معیار درصد خطای پیش‌بینی دبی اوج، درصد خطای پیش‌بینی زمان اوج محاسبه شدند. در جدول (۱) عملکرد مدل‌ها در برآورد این مقادیر را آورده‌ایم. به منظور بررسی کارایی مدل‌ها معیارهای دیگری مانند ضریب تعیین و درصد خطای حجم رواناب را محاسبه کردیم. نتایج حاصل از این مدل‌ها در جدول (۲) آورده‌ایم.

جدول (۱) مقادیر زمان و دبی اوج به دست آمده از دو مدل برای رویدادهای مورد بررسی

تاریخ رویداد	زمان اوج (ساعت)		دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	
	مشاهده‌ای	GIUH	مشاهده‌ای	GIUH
۱۳۸۵/۱/۲۷	۸	۸	۰/۷۹۱	۰/۶۱۵
۱۳۸۵/۲/۵	۸/۵	۸	۱/۱۰۷	۰/۸۲
۱۳۸۵/۲/۷	۸	۷	۱/۷۸۹	۱/۵۲
۱۳۸۸/۶/۳۰	۹	۸	۲/۳۴	۳/۱۶۱
۱۳۸۹/۲/۱۲	۱۰/۷۵	۱۶	۵/۶۷	۳/۹۳

جدول (۲) نتایج ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی مورد بررسی

تاریخ رویداد	روش	معیارهای ارزیابی				
		R^2	E	$\%V$	$\%Q_P$	$\%T_P$
۱۳۸۵/۱/۲۷	GIUH	۰/۹۱	۰/۷۴	۲/۷۲	۲۸/۶۱	۰
۱۳۸۵/۲/۵	GIUH	۰/۸۶	۰/۶۶	۲/۱۲	۳۵	۶/۲۵
۱۳۸۵/۲/۷	GIUH	۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۰۸	۱۷/۶	۱۴/۲۸
۱۳۸۸/۶/۳۰	GIUH	۰/۷۷	۰/۸۷	-۰/۲۹	-۲۵/۹	۱۲/۵
۱۳۸۹/۲/۱۲	GIUH	-	-	۰/۰۴	۴۴/۲	-۳۲/۸۱
میانگین	GIUH	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۹۳	۱۹/۹۲	۰/۰۴

معیارهایی که به منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند، شامل ضریب تعیین (R^2)، درصد خطای حجم هیدروگراف ($\%V$)، درصد خطاهای مربوط به پیش‌بینی دبی اوج ($\%Q_P$) و زمان رسیدن به دبی اوج ($\%T_P$) می‌باشند (جدول ۲).

در جدول فوق ارقام منفی در $\%Q_P$ نشان‌دهنده این است که مقادیر محاسباتی کمتر از مشاهداتی است. همچنین مقادیر مثبت و منفی در ستون $\%T_P$ نشان می‌دهند که مدل زمان رسیدن به دبی اوج را به ترتیب زودتر و دیرتر از زمان مشاهداتی پیش‌بینی کرده است. در مورد ارقام منفی نیز در ستون $\%V$ می‌توان گفت که در این موارد حجم پیش‌بینی شده از مقدار حجم محاسباتی کمتر بوده است.

با توجه به جدول فوق مشاهده می‌کنیم که حداکثر ضریب تعیین و بازده برای مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی به ترتیب برابر با ۰/۹۱ و ۰/۸۷ است. مقادیر حداکثر خطای دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج در مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی برابر با ۴۴/۲ و ۳۲/۸۱ درصد است. میانگین درصد خطای پیش‌بینی دبی اوج و زمان رسیدن به این دبی در مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی به ترتیب برابر با ۱۹/۹۲ و ۰/۰۴ درصد است. می‌توان گفت که مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی پیش‌بینی بهتری از زمان اوج به دست می‌دهد. علاوه بر معیارهای مورد استفاده جهت بررسی کارایی مدل،

مقایسه زمان اوج مشاهداتی و شبیه سازی شده نیز نشان می‌دهد که اختلاف خیلی کمی بین این دو وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه دریاچای واقع در حاشیه دریاچه ارومیه جهت استخراج هیدروگراف حوضه استفاده کردیم و هیدروگرافهای به‌دست آمده با هیدروگراف های مشاهداتی را با استفاده از معیارهای ضریب تعیین، ضریب بازده با معیار نش-ساتکلیف، درصد خطای زمان رسیدن به دبی اوج، درصد خطای دبی اوج و درصد خطای حجم رواناب مورد مقایسه کردیم. مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی دقت خوبی در ایجاد هیدروگراف داشت و ضریب تعیین به‌دست آمده بالاتر از ۰/۸ است. بنابراین این نتایج این مدل می‌تواند به‌عنوان نتایج خوب و قابل اعتمادی در نظر گرفته شود. از آن جایی که مهم‌ترین مولفه‌های یک هیدروگراف دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج است، بیشتر به کارایی مدل از نظر این دو پارامتر پرداختیم. در هر پنج رویداد مورد بررسی درصد خطای پیش‌بینی زمان اوج کمتر از درصد خطای دبی اوج است. حتی در رویداد اول میزان درصد خطای زمان رسیدن به دبی اوج به صفر رسیده است. این موضوع نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل در پیش‌بینی زمان اوج نسبت دبی اوج است. خالقی و همکاران (۱۳۸۹) نیز کارایی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی را با استفاده از معیارهایی مانند میانگین خطای نسبی و میانگین توان دوم خطا برای حوضه کسلیان مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داند مدل ژئومورفولوژی در مقایسه با مدل‌هایی مانند اشنایدر و مثلثی کمترین خطا را دارند. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج غیاثی و روغنی (۱۳۸۵) همخوانی دارند.

منابع

- احمدین، ایوب؛ فاخری‌فرد، احمد و محمد علی قربانی (۱۳۹۰)، مقایسه مدل های هیبرید و نش برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبریز ليقوان)، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۱، ۱۳۹۰، ۴۱-۲۹.
- جهانبخش، سعید؛ رضایی بنفشه، مجید؛ گودرزی، مسعود؛ غفوری روزبهانی، عبدالمحمد و محمدحسین مهدیان (۱۳۹۱)، ارزیابی کاربرد روش زمان- سطح و هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک در برآورد دبی سیلاب بازفت کارون، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶، شماره ۴۱، صص ۶۶-۴۹.
- خالقی، محمدرضا؛ قدوسی، جمال؛ احمد، حسن و منا کامیار (۱۳۸۹)، بررسی کارایی روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در برآورد دبی اوج سیلاب، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۹، صص ۱۰۰-۸۹.
- شیرزادی، عطاله؛ چپی، کامران و پرویز فتحی (۱۳۹۰)، برآورد هیدروگراف واحد مصنوعی با استفاده از تحلیل منطقه‌ای سیلاب و پارامترهای ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه‌های آبخیز مارنج و کانی سواران، کردستان)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره ۵۸، صص ۲۴۰-۲۳۱.
- علیزاده، امین (۱۳۸۵)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا.
- غلامی صومعه، فاطمه؛ فاخری فرد، احمد و یعقوب دین پژوه (۱۳۹۰)، استخراج هیدروگراف واحد ژئومورفولوژیکی بر مبنای مخازن خطی آبشاری (مطالعه موردی: حوضه ليقوان)، علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۴، شماره ۲، صص ۹۳-۸۳.
- غیائی، نجفقلی؛ روغنی، محمد (۱۳۸۵)، کارائی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و مقایسه آن با هیدروگراف‌های مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS در حوضه آبخیز کسلیان، پژوهش و سازندگی، شماره ۷۰، صص ۳۲-۲۳.
- محمودی، فرج اله (۱۳۸۳)، برآورد سیل با استفاده از آنالیز GIUH (مطالعه موردی حوضه امامه)، نشریه علوم جغرافیایی، جلد ۳، شماره ۳ و ۴، صص ۳۰-۱۱.

- فاضل مدرس، نسیم؛ نیازی، فائقه؛ مفید، حامد و احمد فاخری فرد (۱۳۹۱)، مقایسه مدل هایمخزنی **GUHR**، هیبرید و نش در استخراج هیدروگراف واحد حوضه (مطالعه موردی: حوضه کمانج علیا)، دانش آب و خاک، دوره ۲۲، شماره ۴، صص ۱۱۵-۱۰۳.
- نیازی، فائقه؛ فاخری فرد، احمد؛ حسین زاده دلیر، علی؛ ناظمی، امیرحسین و محمدعلی قربانی (۱۳۸۷)، استخراج هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی مخزن و مقایسه آن با هیدروگراف واحد بر مبنای مدل نش (مطالعه موردی: حوضه کمانج بالا)، دانش کشاورزی، جلد ۱۸، شماره ۳، صص ۳۱-۱۹.
- Choi, H., Kang, I.J., Chung, Y.H., 2007, **Uncertainty analysis of flash-flood system using remote sensing and a geographic information system based on GCLUH in the Yeongdeok basin, Korea**. International Journal of Remote Sensing, 28(24), 5551-5565.
- Dabbaghian Amiry, M., Mohammadi, A. A., 2012, **Regional model for peak discharge estimation in ungauged drainage basin using GIUH, Snyder, SCS and triangular models**. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 4(4), 86-96.
- Cudenne, C., Fouad. Y., SumarjoGotot, I., Duchesne, J., 2004, **A geomorphological explanation of the unit hydrograph concept**, Hydrol. Process 18, 603-621.
- Grimaldi, S., Petroselli, A., Nardi, F., 2012, **A parsimonious geomorphological unit hydrograph for rainfall-runoff modeling in small ungauged basin**, Hydrological Sciences Journal, 57, 73-83.
- Jena, S.K., Tiwari, K.N., 2006, **Modeling synthetic unit hydrograph parameters with geomorphologic parameters of watersheds**, Journal of Hydrology 319, 1-14.
- Kumar, A., 2014, **Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Based Hydrologic Response Models for Ungauged Hilly Watershed in India**, Water Resources Management, DOI 10.1007/s11269-014-0848-z.
- Shaheen, H., Jayyousi, A., Shadeed, S., Jarrar, A., 2005, **Hydrograph estimation in semiarid regions using GIS supported GIUH model**, Ninth International Water Technology Conference, IWTC9, Sharm EL-Sheikh, Egypt.
- Zelazinski, J., 1986, **Application of geomorphological instant unit hydrograph theory to development of forecasting models in Poland**, Hydrological Sciences Journal, 32(2), 263-270.