

ارزیابی کارایی توابع مفصل در برآورد تلفات بارش و مدل سازی بارش-رواناب، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان

فاطمه بیاتی^{۱*}، رسول میرعباسی نجف آبادی^۲، روح الله فتاحی نافچی^۳ و مهدی رادفر^۴

^۱ کارشناس ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ^۲ دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد و ^۴ استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۹

چکیده

از جمله مهمترین چالشی که محققان در مدل سازی بارش-رواناب با آن روبه رو هستند، به کارگیری نوع روش تلفات و جداسازی بارش موثر است که به طبع بر روی دقت مدل در تمام جزئیات هیدروگراف تاثیر می گذارد. در این مطالعه، ابتدا شاخص نفوذ Φ بر اساس ارتفاع رواناب، بارش و زمان موثر بارش مشخص شد. سپس، هیدروگراف واحد لحظه ای از طریق روش روسو محاسبه و ابعاد هیدروگراف رواناب مستقیم برای ۲۰ رویداد حوضه برآورد شد. سپس، به دلیل افزایش دقت در ابعاد هیدروگراف رواناب به دست آمده، مقدار شاخص نفوذ Φ بر اساس توزیع دو متغیره حاصل از شاخص نفوذ و یکی از خصوصیات بارش یا رواناب با استفاده از توابع مفصل تخمین زده شد. بدین منظور، ابتدا همبستگی بین شاخص نفوذ Φ و هر یک از خصوصیات بارش و رواناب مشخص و نوع توزیع های حاشیه ای مناسب هر متغیر مشخص شد. در نهایت، تابع مفصل گالامبوس به عنوان بهترین تابع مفصل برای ایجاد توزیع های دو متغیره از شاخص نفوذ Φ و ارتفاع بارش؛ شاخص نفوذ Φ و بیشینه شدت جریان؛ شاخص نفوذ Φ و متوسط شدت جریان و همچنین، شاخص نفوذ Φ و سرعت جریان انتخاب شد تا هیدروگراف بارش برای هر رویداد به دست آید. با مقایسه بین اجزای مختلف هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی از روش تابع مفصل با روش روسو مشخص شد که با استفاده از تابع مفصل می توان با دقت بیشتری مقدار شاخص نفوذ Φ را تخمین زد.

واژه های کلیدی: تابع مفصل، شاخص نفوذ Φ ، هیدروگراف واحد لحظه ای روسو، خصوصیات بارش، خصوصیات رواناب

مقدمه

مدل های تجربی برای تعیین هیدروگراف سیلاب برای مطالعات ضروری به نظر می رسد. یکی از این روش ها، هیدروگراف واحد است. هیدروگراف واحد علاوه بر تخمین دبی اوج، قادر به ساخت هیدروگراف سیل نیز می باشد. یکی از مشکلات استفاده از هیدروگراف واحد این است که برای بارش با تداوم خاص محاسبه می شود. برای رفع این مشکل می توان از مفهوم هیدروگراف واحد لحظه ای استفاده کرد. روش

سیل یکی از عمده ترین مسائل بحرانی محیط زیست و حتی جوامع بشری است. بیشتر روش های برآورد دبی سیل از دیدگاه هیدرولوژی مبتنی بر داده های بارش-رواناب است، اما به دلایل مختلفی از جمله کمبود ایستگاه ها یا نبود ایستگاه در نقاط مختلف، آمار مورد نیاز یا موجود نیست، یا از بین رفته و قابل اطمینان نیستند. به همین منظور، استفاده از

محاسبه شده با هیدروگراف مشاهده شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی آماری تاثیر روش‌های تلفات مذکور بر ویژگی‌های هیدروگراف خروجی با آماره‌های متوسط خطای نسبی پیش‌بینی، شیب خط برازش، ضریب تعیین و متوسط جذر میانگین مربعات خطا، به ترتیب منجر به نتایج برتری نسبی روش SCS، اولیه-پیوسته با نرخ ثابت، پیوسته با نرخ ثابت و نسبی شد. Rostamizade و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی روش‌های مختلف برآورد تلفات بارش با استفاده از مدل HEC-HMS^۲ برای حوزه آبخیز کن در استان تهران پرداختند. آن‌ها با مقایسه بین نتایج حاصل از روش‌های مختلف برآورد تلفات بارش و برازش به‌وسیله تابع هدف، روشی که کمترین میزان درصد تغییرات دبی مشاهداتی نسبت به دبی محاسباتی را داشت، در اولویت اول قرار داده، روش‌های دیگر در اولویت بعدی. نتایج نشان داد، روش‌های بهینه برای برآورد تلفات بارش حوضه مورد مطالعه، به ترتیب اهمیت عبارتند از تلفات نمایی، گرین و آمپت، شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات، شماره منحنی، کمبود اولیه و میزان ثابت تلفات است. از آنجایی که تلفات بارش و بارش موثر بر روی هیدروگراف سیل تاثیرگذار است، می‌توان با در نظر گرفتن توزیع توام میزان خطا در محاسبه تلفات بارش را به کمینه رساند و امروزه توابع توزیع چند متغیره کلاسیک جای خود را به دسته خاصی از توابع چند متغیره به نام توابع مفصل داده‌اند. یکی از روش‌های تحلیل‌های چند متغیره که بر محدودیت‌های توابع چند متغیره کلاسیک فائق آمده است، استفاده از توابع مفصل Copulas می‌باشد. مفصل‌ها یک شیوه انعطاف‌پذیر برای ایجاد توزیع‌های توأم آماری با توابع توزیع حاشیه‌ای متفاوت است. در واقع مفصل، تابعی است که توابع توزیع حاشیه‌ای تک متغیره که بر بازه (۰ و ۱) یکنواخت هستند را برای تشکیل یک تابع توزیع دو یا چند متغیره، به هم پیوند می‌دهد. توابع مفصل در مطالعات هیدرولوژی، اولین بار به‌وسیله Salvadori و De Michele (۲۰۰۳) برای تحلیل فراوانی باران به کار برده شد. Abbasian و

هیدروگراف واحد لحظه‌ای دارای انواع مختلفی از جمله ژئومورفولوژیک، ژئومورفوکلیماتیک، نش، روسو و ... است. روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH)^۱ بر اساس ارتباط عوامل ژئومورفولوژی، اقلیم و هیدرولوژی، به‌وسیله Rodriguez-Iturbe و همکاران (۱۹۸۲) ارائه شد. Saravanan و Manjulia (۲۰۱۵) بیان کردند که مفهوم هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی در محاسبه تاثیر شبکه کانال و شکل هیدروگراف است. این روش بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژی کمی حوضه‌ها مانند نسبت انشعابات، نسبت طول، نسبت مساحت، طول بالاترین درجه آبراهه، شدت بارش و سرعت در دبی اوج سیلاب، هیدروگراف واحد لحظه‌ای را استخراج می‌کند. اما پدیده‌های هیدرولوژیکی مانند بارش، رواناب، سیل و خشکسالی از نوع تصادفی بوده و به‌وسیله مشخصه‌هایی از قبیل شدت، مدت و بزرگی توصیف می‌شوند. این مشخصه‌ها به هم وابسته بوده، به‌صورت مستقل از هم تغییر نمی‌کنند. در عین حال هرکدام بر دیگری تاثیر می‌گذارند. استفاده از توزیع‌های آماری تک متغیره برای چنین متغیرهایی بدون در نظر گرفتن این همبستگی‌ها بر عدم قطعیت‌ها می‌افزاید. لذا، به‌منظور افزایش اطمینان به نتایج تحلیل‌ها، از رویکردهای چند متغیره استفاده می‌شود. از جمله روش‌های سنتی تحلیل‌های چند متغیره استفاده از توابع توزیع چند متغیره کلاسیک است. Akhund Ali و Sayed Kabuli (۲۰۰۹) معتقد هستند، در استفاده از این توابع مشخص بودن توزیع‌های حاشیه‌ای و یکسان بودن نوع آن‌ها الزامی است، به همین منظور، استفاده از این روش‌ها با محدودیت مواجه است. آن‌ها ارزیابی روش‌های تلفات باران را برای حوزه آبخیز کسلیان انجام دادند. با اعمال روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت شاخص (φ) ، تلفات اولیه-پیوسته با نرخ ثابت، تلفات نسبی و SCS در مدل بارش-رواناب کلارک، هیدروگراف خروجی ناشی از ۲۴ رویداد را برای حوضه مورد نظر محاسبه کردند. سپس، ویژگی‌های هیدروگراف

² Hydrologic Engineering Center Hydraulic Modeling System

¹ Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph

بارش، متوسط شدت جریان، بیشینه شدت جریان و مدت زمان بارش به‌دست آوردند. سپس، برای به‌دست آوردن شاخص نفوذ از طریق تابع مفصل هر کدام از جفت پارامترها را مورد بررسی قرار داده که نهایتاً تابع مفصل فرانک برای جفت پارامترها به‌عنوان بهترین تابع مفصل انتخاب شد. Rahimi و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی از توابع مفصل ارشمیدسی برای تحلیل ساختار وابستگی بین دبی اوج و حجم سیلاب استفاده کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن معیار حدی دبی اوج و روش بیشینه سالانه، سری زمانی داده‌های سیلاب را در مقیاس روزانه برای ایستگاه ارازکوسه ایجاد کردند. با مقایسه بین نتایج به‌دست آمده از تحلیل دو متغیره در مقابل تحلیل فراوانی تک متغیره، می‌توان نتیجه گرفت که تحلیل فراوانی تک متغیره وقایع هیدرولوژیکی به‌علت عدم در نظر گرفتن تمامی مشخصه‌های موثر در یک پدیده، تحلیلی جامع و به دور از خطا نخواهد بود. بنابراین، با در نظر گرفتن این نکته که پدیده‌های هیدرولوژیکی متأثر از چندین ویژگی با برهم کنش داخلی با یکدیگر هستند، لازم است، تا ساختار وابستگی داخلی بین این متغیرها نیز مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش، به‌منظور برآورد تلفات بارش و مدل‌سازی بارش-رواناب در حوزه آبخیز کسلیان از دو روش روسو و توابع مفصل استفاده شده است و نهایتاً، استفاده از روش توابع مفصل به‌منظور افزایش دقت توصیه شده است.

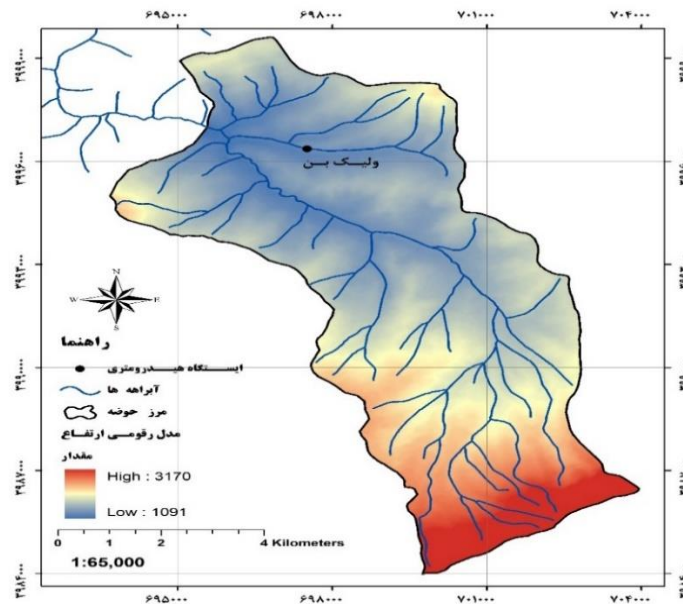
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز کسلیان دومین حوزه آبخیز معرف کشور است. موقعیت آن بین عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 58' 45''$ تا $36^{\circ} 07' 54''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $30^{\circ} 10' 30''$ تا $53^{\circ} 10' 30''$ شرقی واقع شده است (شکل ۱). رودخانه اصلی حوضه از جنوب به طرف شمال غربی حوضه جریان داشته، در محلی به‌نام ولیک‌بن از حوضه خارج می‌شود. میانگین بارش سالانه آن ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. برای انجام این تحقیق، ابتدا، تعداد ۲۰ رویداد بارش و رواناب متناظر مربوط به سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۶ با توجه به یکسری شرایط مانند داشتن هیئتوگراف متناظر سیل، داشتن ابتدا و انتهای

همکاران (۲۰۱۴) تجزیه و تحلیل فراوانی چند متغیره سیلاب را با استفاده از تابع مفصل و توزیع‌های حاشیه‌ای پارامتری و ناپارامتری برای حوضه آبخیز کسلیان انجام دادند. آن‌ها برای انجام این مطالعه، از خصوصیات ۴۳ سیلاب بین سال‌های ۶۷ تا ۷۸ استفاده کردند. به این منظور، ابتدا توابع توزیع پارامتری و ناپارامتری بر هر یک از متغیرهای دبی اوج، حجم رواناب و مدت سیلاب برازش دادند و مناسب‌ترین تابع توزیع برای هر یک از متغیرها انتخاب کردند. سپس، سه تابع مفصل ارشمیدسی بر زوج متغیرهای دبی اوج-حجم رواناب، دبی اوج-مدت و حجم رواناب-مدت برازش داده و مناسب‌ترین تابع مفصل را برای هر یک از زوج متغیرها برگزیدند. در پایان، پس از محاسبه دوره بازگشت‌های توأم هر یک از زوج متغیرها، نتایج به‌دست آمده به‌وسیله منحنی‌ها و رویه‌های دوره بازگشت‌های توأم به نمایش در آمد. Aghakouchak و همکاران (۲۰۱۰) از توابع مفصل نوع بیضوی به‌منظور شبیه‌سازی همبستگی مکانی بارش استفاده کردند و دریافتند که استفاده از تابع مفصل t در مقایسه با تابع گوسی عملکرد بهتری برای شبیه‌سازی بارش‌های حدی دارد. Bahremand و Mostafazade (۲۰۱۰) پس از بررسی الگوریتم‌های محاسباتی، پارامترها و شکل توزیع توابع مفصل ارشمیدسی و بیضوی و جایگاه آن در هیدرولوژی استوکاستیک، بیان کردند که با توجه به تصادفی و وابسته بودن متغیرهای هیدرولوژیکی، استفاده از توابع مفصل در ایجاد توزیع‌های چند متغیره به مدیران و برنامه‌ریزان سامانه‌های هیدرولوژیکی در راستای شناخت صحیح فرایندها و ارائه راهکارها و استراتژی‌های مناسب کمک خواهد کرد. Gargouri- Ellouz و Bargaoui (۲۰۱۲) هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی و تابع مفصل را برای ۲۰ رویداد در حوضه واقع در تونس مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها ابتدا، با استفاده از روش نش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی را برای رویدادها محاسبه کرده، سپس، متغیرهای مدت زمان بارش، عمق بارش، بیشینه شدت بارش، میانگین شدت بارش را برای رویدادها به‌دست آورده، توزیع حاشیه‌ای را با استفاده از نرم‌افزار HYFRAN برای شاخص نفوذ، ارتفاع

دقت در محاسبه شاخص نفوذ (ϕ) و برآورد رواناب در حوضه مورد نظر از روش تابع مفصل استفاده شد. در نهایت، دو روش روسو و روش استفاده شده از تابع مفصل با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند.

کاملاً مشخص برای هیدروگراف هر واقعه سیل، داشتن هیدروگراف و تاج کاملاً مشخص و نبود ذوب برف برای محاسبه رواناب با استفاده از هیدروگراف واحد لحظه‌ای روسو انتخاب شد. سپس، به منظور افزایش



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کسلیان

$$k = 0.7 \left(\frac{R_A}{R_B R_L} \right)^{0.48} L_{\Omega} V^{-1} \quad (4)$$

$$n = 3.29 \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (5)$$

که در آن، L_{Ω} طول آبراهه با بالاترین رتبه (متر) و V سرعت جریان (متر بر ثانیه) می‌باشد. در کلیه رابطه‌های (۲) تا (۴)، پارامترهای نسبت انشعاب (BR)، نسبت مساحت (RA) و نسبت طول (RL) هستند.

در معادله روسو برای محاسبه مقدار سرعت (V) از رابطه همبستگی بین مقادیر سرعت و دبی برای هر رویداد استفاده شد.

ضریب همبستگی τ کندال: یک ضریب همبستگی رتبه‌ای است که برای تعیین معیار وابستگی بین متغیرهای تصادفی که عموماً در موارد مرتبط با توابع مفصل هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب τ کندال به صورت ارتباط بین احتمال سازگاری و احتمال ناسازگاری به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\tau = P[(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) > 0] - P[(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) < 0] \quad (6)$$

که در آن، (X_1, Y_1) و (X_2, Y_2) بردارهای تصادفی

شاخص نفوذ (ϕ) و سرعت (v): برای تعیین هایتوگراف مربوط به بارش مازاد از شاخص فی (ϕ) استفاده شد. شاخص ϕ عبارت است از میانگین شدت بارشی که بیش از آن به طور کامل به رواناب تبدیل شده، حاصل ضرب آن در مساحت حوضه، برابر با حجم رواناب خروجی منطقه است.

$$\phi = \frac{P-R}{t} \quad (1)$$

که در آن، P مجموع ارتفاع بارش (میلی‌متر)، R ارتفاع رواناب (میلی‌متر) و t بیانگر مدت زمان بارندگی (ساعت) است.

هیدروگراف واحد لحظه‌ای بر مبنای روش روسو: روسو دبی و زمان اوج هیدروگراف واحد لحظه‌ای را به صورت زیر ارائه کرد.

$$q_p = 0.364 R_L L_{\Omega}^{-1} V \quad (2)$$

$$t_p = 1.584 \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} L_{\Omega} V^{-1} \quad (3)$$

که در آن، q_p دبی اوج (بر ثانیه)، t_p زمان اوج (ثانیه)، L_{Ω} طول آبراهه با بالاترین رتبه (متر) و V سرعت جریان (متر بر ثانیه) می‌باشد. مقدار k و n نیز در روش روسو از معادلات زیر به دست می‌آیند.

است. در این پژوهش، برای محاسبه پارامتر تابع مفصل از این روش استفاده شد.

خانواده مفصل‌ها: توابع مفصل به خانواده‌های زیادی تقسیم‌بندی می‌شوند. از معروفترین خانواده مفصل‌ها که در هیدرولوژی کاربرد دارند، می‌توان به مفصل‌های بیضوی (یا به‌طور کلی‌تر نیمه‌بیضوی) که شامل مفصل‌های گاوسی (نرمال) و تی استیوندت هستند، مفصل‌های ارشمیدسی که شامل مفصل‌های ارشمیدسی متقارن و نامتقارن (تودرتو) هستند، مفصل‌های مقادیر حدی و مفصل‌های تجربی اشاره کرد.

احتمال شرطی توأم: Saritha و Sahoo (۲۰۱۵)، احتمالات شرطی دو متغیره را نیز می‌توان به سادگی بر اساس توابع مفصل تعریف کردند. به این صورت که اگر هدف بررسی احتمال وقوع یک متغیر در حالت فرضی تجاوز متغیر دیگر از آستانه خاصی باشد، می‌توان با روابط احتمالات شرطی مقدار آن را محاسبه کرد. در این پژوهش، احتمال شرطی توزیع متوسط شدت بارش (I) در حالتی که میزان نفوذ (ϕ) از یک حد آستانه معین، ϕ تجاوز کند، از رابطه (۶) به‌دست می‌آید.

$$P(I \leq \frac{I}{\phi} \geq \phi = F_I(I) - C(F_{ph}(\phi), F_I(I)) \quad (8)$$

معیارهای ارزیابی: به‌منظور مقایسه بین نتایج به‌دست آمده در روش روسو و تابع مفصل، از معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)^۳ و ضریب نش-ساتکلیف (NS)^۴ استفاده شد. RMSE چون بیانگر میزان خطاست هرچه این ضریب به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل مناسب‌تر خواهد بود و در مورد ضریب نش-ساتکلیف (NS) می‌توان گفت هرچه این ضریب به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، مدل برازش بهتری را نشان خواهد داد (معادلات ۹ و ۱۰).

$$N_S = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{abs} - Q_{cal})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{abs} - \bar{Q})^2} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{cal} - \bar{Q})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{abs} - Q_{cal})^2}} \quad (10)$$

که در آن، Q_{abs} ، Q_{cal} و \bar{Q} به‌ترتیب مقدار دبی برآورد شده، دبی مشاهداتی و میانگین دبی مشاهداتی

به‌طور یکنواخت توزیع شده و مستقل با تابع توزیع توأم یکسان $H_{XY}(x,y)$ هستند. محدوده ضریب τ کندال مانند ضریب خطی پیرسون r در بازه $[-1,1]$ است که ۱ سازگاری کامل، ۰-۱ ناسازگاری کامل و مقدار صفر، سازگاری صفر را بیان می‌کنند. در این پژوهش، از ضریب τ کندال به‌منظور بررسی همبستگی بین شاخص نفوذ ϕ ، ارتفاع بارش، بیشینه شدت جریان، متوسط شدت جریان و سرعت استفاده شد.

توابع مفصل: اسکالر نشان داد که برای متغیرهای تصادفی پیوسته d بعدی $\{x_1, \dots, x_d\}$ با CDFهای حاشیه‌ای $u_j = F_{x_j}(x_j)$ که $j=1, \dots, d$ یک مفصل d بعدی یکتای C_{u_1, \dots, u_d} وجود دارد.

$$C_{U_1, \dots, U_d}(u_1, \dots, u_d) = H_{X_1, \dots, X_d}(x_1, \dots, x_d) \quad (7)$$

که در آن، u_j زامین حاشیه و H_{X_1, \dots, X_d} همان تابع توزیع توأم $\{x_1, \dots, x_d\}$ است. Mirabbasi و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند، به‌دلیل این‌که برای متغیرهای تصادفی پیوسته تابع توزیع حاشیه از صفر تا یک غیرکاهشی است، می‌توان مفصل C_{U_1, \dots, U_d} را به‌عنوان تبدیل H_{X_1, \dots, X_d} از $[-\infty, \infty]^d$ به $[0,1]^d$ در نظر گرفت. Nelsen (۲۰۰۶) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید، اگر تابع توزیع تجمعی توأم با توزیع‌های حاشیه‌ای $F_X(x)$ و $F_Y(y)$ به‌صورت $F_{X,Y}(x,y)$ نشان داده شود، آنگاه یک مفصل C را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد.

$$F_{X,Y}(x,y) = C[F_X(x), F_Y(y)] \quad (8)$$

روش توابع منطقی برای حاشیه‌ها IFM: این روش متداول‌ترین روش برای تخمین پارامترهای مفصل می‌باشد که به‌وسیله جوئی ارائه شده، شامل دو مرحله مجزا به شرح زیر است.

مرحله اول، بیشینه کردن دو تابع درست‌نمایی هر یک از توزیع‌های حاشیه‌ای تک متغیره برای تخمین پارامترهای توزیع‌های حاشیه‌ای تک متغیره و مرحله دوم، شامل بیشینه کردن تابع درست‌نمایی مفصل برای تخمین پارامتر وابستگی مفصل، θ است. این روش از نظر محاسباتی بسیار کارآمدتر از MLM^۲

³ Root Mean Square Error

⁴ Nash-Sutcliffe Efficiency

¹ Inference Functions for Margins

² Maximum Likelihood Method

هستند.

گزارش شده است. نکته‌ای که باید به آن توجه شود، این است که در استخراج مقادیر k عامل سرعت تاثیر به‌سزایی دارد، به گونه‌ای که هرچه سرعت جریان کمتر، پارامتر k حوضه بیشتر خواهد شد. بعد از محاسبه این پارامترها هیدروگراف واحد لحظه‌ای برای ۲۰ رویداد به‌دست آمد، سپس، هیدروگراف واحد لحظه‌ای با استفاده از روش S به هیدروگراف واحد تبدیل شد. در شکل‌های ۲ تا ۴ هیدروگراف واحد مشاهداتی و روسو رویدادهای ۱۳۷۲/۰۳/۱۵، ۱۳۷۶/۰۲/۱۶ و ۱۳۸۵/۱۲/۱۰ برای نمونه نشان داده شده است.

نتایج و بحث

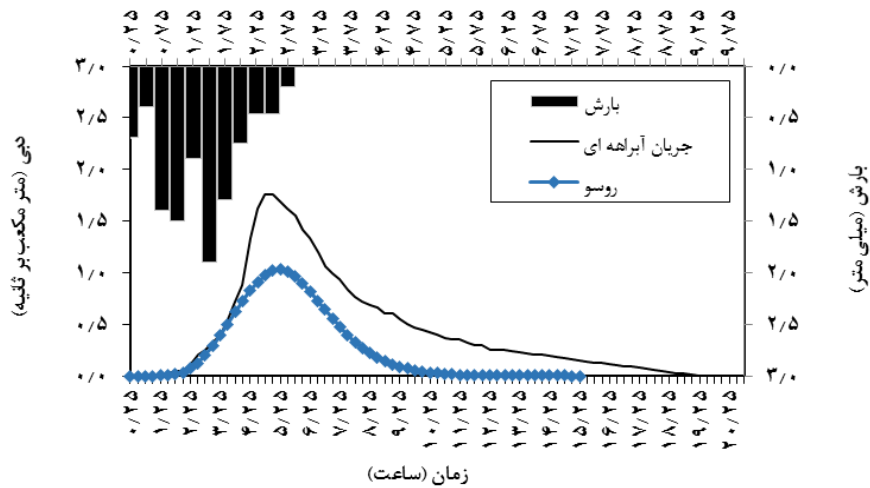
به‌منظور مقایسه دو روش روسو و تابع مفصل در برآورد مقدار رواناب حوضه، ابتدا مقدار شاخص فی (Φ) و سرعت برای روش روسو در رویدادهای انتخابی، کدی در محیط نرم‌افزار MATLAB نوشته شد. همان‌طور که نتایج این دو پارامتر در جدول ۱ آورده شده است، محدوده تغییرات سرعت بین ۰/۲۵ تا ۰/۸۵ متر بر ثانیه برآورد شد. مقادیر k و n با استفاده از معادله‌های (۴) و (۵) محاسبه و نتایج در جدول ۲

جدول ۱- پارامترهای سرعت و شاخص نفوذ برای ۲۰ رویداد منتخب بارش-رواناب حوضه کسپلیان

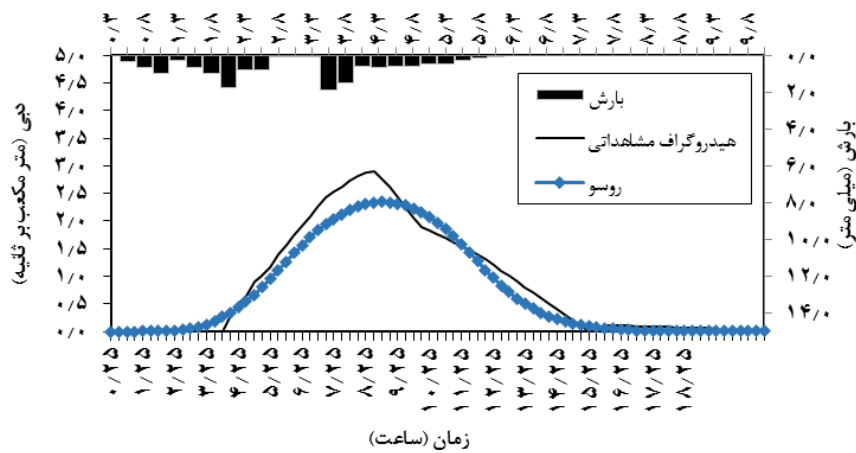
رویداد	شاخص نفوذ	سرعت (ms^{-1})	رویداد	شاخص نفوذ	سرعت (ms^{-1})
۱۳۷۱/۰۳/۳۱	۷/۴	۰/۸۹	۱۳۸۲/۶/۱	۴/۴۶	۰/۴۴
۱۳۷۱/۰۷/۱۶	۰/۰۱	۰/۶۹	۱۳۸۲/۷/۱۳	۰/۰۰۰۱۵	۰/۸۳
۱۳۷۲/۰۳/۱۵	۱/۲۹	۰/۴۹	۱۳۸۳/۳/۳	۰/۴۵	۰/۵۳
۱۳۷۲/۰۴/۲۲	۰/۹۷	۰/۵	۱۳۸۳/۸/۲۸	۰/۰۵	۰/۳۰۳
۱۳۷۳/۰۹/۰۶	۱/۳۱	۰/۲۵	۱۳۸۳/۹/۴	۰/۰۱۵	۰/۶۷
۱۳۷۴/۳۰/۲۷	۶/۸	۰/۷۳	۱۳۸۴/۸/۱۵	۰/۰۰۶۵	۰/۳۵
۱۳۷۶/۰۲/۱۶	۰/۶۹۲	۰/۵۹	۱۳۸۴/۸/۱۷	۰/۳۳	۰/۸۵
۱۳۷۶/۰۴/۱۲	۸	۰/۸۹	۱۳۸۵/۶/۲۶	۰/۴۶	۰/۳۱
۱۳۷۸/۰۱/۱۳	۰/۳۵	۰/۶۵	۱۳۸۵/۱۱/۱۹	۰/۰۰۰۱	۱/۲۸
۱۳۷۹/۰۸/۰۹	۰/۸۹	۰/۸۴	۱۳۸۵/۱۲/۱۰	۰/۰۸۹	۰/۶۴۸
۱۳۸۰/۳/۱۶	۰/۸	۰/۵			

جدول ۲- مقادیر پارامترهای k و n محاسبه شده برای ۲۰ رویداد منتخب بارش-رواناب حوضه کسپلیان با روش روسو

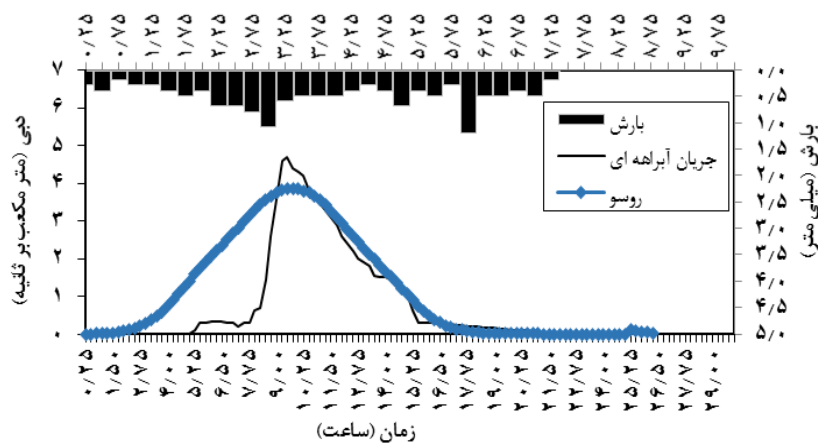
روش روسو		رویداد	روش روسو		رویداد
n	k		n	k	
۴/۳۹	۳/۱۶	۱۳۸۲/۶/۱	۴/۳۹	۲/۰۱	۱۳۷۱/۰۳/۳۱
۴/۳۹	۱/۶۷	۱۳۸۲/۷/۱۳	۴/۳۹	۲/۰۱	۱۳۷۱/۰۷/۱۶
۴/۳۹	۲/۶۲	۱۳۸۳/۳/۳	۴/۳۹	۳/۴۸	۱۳۷۲/۰۳/۱۵
۴/۳۹	۴/۵۹	۱۳۸۳/۸/۲۸	۴/۳۹	۲/۴	۱۳۷۲/۰۴/۲۲
۴/۳۹	۲/۰۷	۱۳۸۳/۹/۴	۴/۳۹	۴/۸	۱۳۷۳/۰۹/۰۶
۴/۳۹	۲/۹	۱۳۸۴/۸/۱۵	۴/۳۹	۲/۲۱	۱۳۷۴/۰۳/۲۷
۴/۳۹	۱/۶۳	۱۳۸۴/۸/۱۷	۴/۳۹	۲/۶۷	۱۳۷۶/۰۲/۱۶
۴/۳۹	۸/۴۴	۱۳۸۵/۶/۲۶	۴/۳۹	۱/۵۶	۱۳۷۶/۰۴/۱۲
۴/۳۹	۴/۹۷	۱۳۸۵/۱۱/۱۹	۴/۳۹	۶/۹۱	۱۳۷۸/۰۱/۱۳
۴/۳۹	۲/۰۳	۱۳۸۵/۱۲/۱۰	۴/۳۹	۱/۶۵	۱۳۷۹/۰۸/۰۹
			۴/۳۹	۲/۷۸	۱۳۸۰/۳/۱۶



شکل ۲- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با روش روسو برای رویداد ۱۳۷۲/۰۳/۱۵



شکل ۳- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با روش روسو برای رویداد ۱۳۸۰/۰۳/۱۶



شکل ۴- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با روش روسو برای رویداد ۱۳۸۵/۱۲/۱۰

مشخصاتی همچون ارتفاع بارش (p)، بیشینه شدت جریان I_{max} ، متوسط شدت جریان I_{averag} و سرعت (V) با ضریب همبستگی τ کندال به دست آمد. ضریب

در مرحله بعد، برای به دست آوردن شاخص نفوذ Φ با استفاده از توابع مفصل برای ۲۰ رویداد انتخاب شده، ابتدا، میزان همبستگی بین شاخص نفوذ و

$$|\tau| > z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{2[(2n+5)]}{9n(n-1)}} \quad (11)$$

که در آن، n تعداد رویدادهای مورد نظر است. سمت راست معادله (۱۱) باتوجه به تعداد رویدادهای در نظر گرفته شده برابر با $0/3$ به دست آمد. با مقایسه انجام شده می‌توان گفت، فرض H_0 برای پارامترهای بیشینه شدت جریان، متوسط شدت جریان و ارتفاع بارش رد شده، این بدین معنی است که بین شاخص نفوذ و سه پارامتر گفته شده همبستگی معنی‌داری وجود دارد و از در نظر گرفتن جفت شاخص نفوذ و سرعت چشم‌پوشی می‌شود. جزئیات نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

همبستگی τ کندال هرچه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، میزان همبستگی بیشتری را نشان می‌دهد. بدین‌منظور فرض H_0 عدم وابستگی بین پارامترها در نظر گرفته شد. مقادیر τ کندال برای جفت متغیرهای شاخص نفوذ و ارتفاع بارش، شاخص نفوذ و سرعت، شاخص نفوذ و بیشینه شدت جریان، شاخص نفوذ و متوسط شدت جریان با استفاده از کد نوشته شده در برنامه MATLAB به ترتیب برابر با $0/34$ ، $0/05$ ، $0/43$ و $0/47$ محاسبه شد. برای قبول یا رد شدن فرض H_0 مقایسه τ کندال با $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ در سطح پنج درصد مطابق با رابطه (۱۱) انجام شد.

جدول ۳- رابطه بین ضریب τ کندال و $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ برای مشخصات بارش

H_0	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$	τ کندال	جفت پارامترها
رد	$0/3$	$0/34$	(φ, p)
قبول	$0/3$	$0/05$	(φ, v)
رد	$0/3$	$0/43$	(φ, I_{max})
رد	$0/3$	$0/47$	(φ, I_{averag})

متناظر تابع مفصل تجربی مقایسه شد. برای مقایسه مقادیر تابع مفصل تجربی با مقادیر متناظر هفت تابع مفصل مورد بررسی از معیار ارزیابی RMSE استفاده شد که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است، برای هر سه جفت مشخصه مورد بررسی بهترین نوع تابع مفصل، گالامبوس بوده است.

برای به دست آوردن مقدار شاخص نفوذ (φ) احتمال تجمعی توام و احتمال شرطی توام محاسبه شد و نهایتاً مقدار شاخص نفوذ با در نظر گرفتن احتمال ۹۵ درصد مطابق با جدول ۶ به دست آمد. طبق جدول ۶، میزان نفوذ برای ۲۰ رویداد بین $0/0003$ تا $7/2$ میلی‌متر بر ساعت به دست آمد و نهایتاً هیدروگراف سیل نیز محاسبه شد. شکل‌های ۵، ۶ و ۷ برای نمونه مقایسه هیدروگراف محاسباتی با هیدروگراف مشاهداتی را برای رویدادهای ۱۳۷۲/۳/۱۵، ۱۳۷۶/۲/۱۶ و ۱۳۸۵/۱۲/۱۰ نشان می‌دهد.

به‌منظور انتخاب تابع توزیع حاشیه‌ای مناسب برای هر خصوصیت بارش و شاخص نفوذ φ از نرم‌افزار Easy Fit استفاده شد که از بین توزیع‌های مختلف بر اساس آزمون کای اسکوئر^۱، توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته^۲ (GEV) بهترین برازش را بر هر چهار متغیر شاخص نفوذ، ارتفاع بارش، بیشینه شدت جریان و متوسط شدت نشان داد. در جدول ۴، مقادیر پارامترهای توزیع GEV برای هر کدام از مشخصه‌های مورد بررسی آورده شده است.

با مشخص شدن بهترین تابع توزیع حاشیه‌ای برای هر مشخصه، پارامتر وابستگی (θ) تابع مفصل را برای هر جفت پارامتر (φ, p) ، (φ, I_{max}) و (φ, I_{averag}) با روش IFM و با استفاده از کد نوشته شده در برنامه MATLAB محاسبه شد. ابتدا هفت نوع تابع مفصل کلایتون، علی-میخائیل-حق، فرانک، گالامبوس، گامبل هوگارد، پلاکت و فارلی-گامبل-مورگنسترن برای هر جفت مشخصات محاسبه شد و با مقادیر

¹ Chi-Squared

² Generalized Extreme Value

جدول ۴- پارامترهای توزیع حاشیه ای مناسب برای هر کدام از متغیرهای مورد بررسی

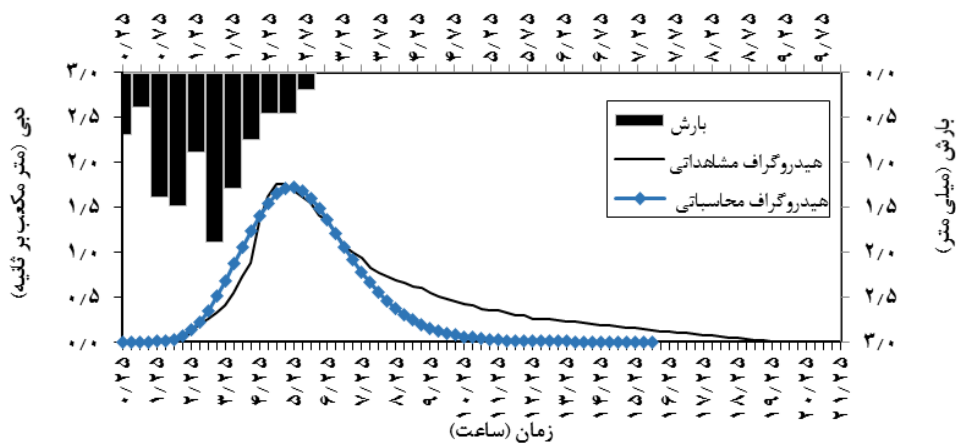
P-value	Statistic	پارامترهای توزیع GEV			پارامتر
		μ	σ	K	
۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۰۷۱	۰/۲۱	۳/۰۳	شاخص نفوذ (φ)
۰/۶۱	۰/۹۸	۱۰/۵۱	۵/۲۸	۰/۰۶۶	ارتفاع بارش (P)
۰/۹۸	۰/۰۳۶	۶/۶۸	۵/۶	۰/۵	حداکثر شدت جریان (I_{max})
۰/۹۳	۰/۴۱	۲/۰۷	۱/۴۸	۰/۴۵	متوسط شدت جریان (I_{averag})

جدول ۵- نتایج مقایسه توابع مفصل تئوری و تجربی برای هر کدام از جفت متغیرهای مورد بررسی

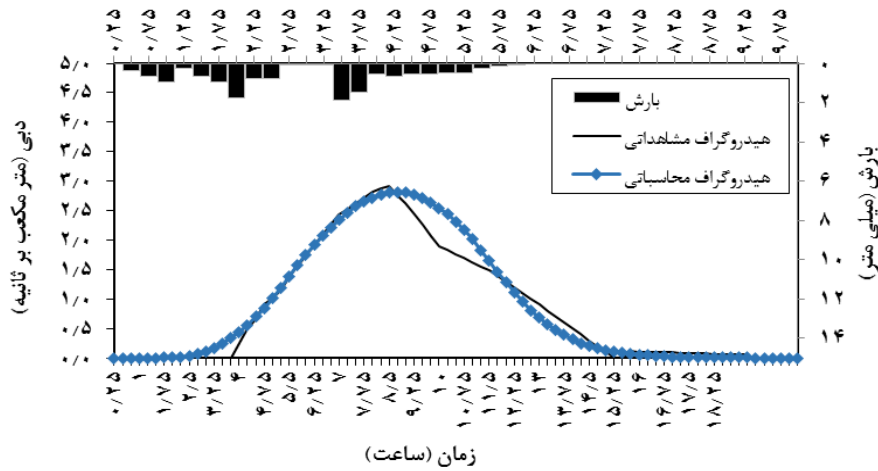
(φ, I_{averag})		(φ, I_{max})		(φ, p)		نوع تابع مفصل
θ	RMSE	θ	RMSE	θ	RMSE	
۰/۴۱	۰/۰۷۹	۰/۴	۰/۰۸۵	۰/۵	۰/۰۵۹	کلایتون
۰/۷۷	۰/۰۷۴	۰/۷۷	۰/۰۷۹	۰/۸۲	۰/۰۶۳	علی-میخائیل-حق
۰/۵۹	۰/۰۶۶	۰/۵۲	۰/۰۷۱	۰/۶۱	۰/۰۵۷	فرانک
۰/۵۱	۰/۰۶۳	۰/۵۹	۰/۰۷۸	۰/۳۵	۰/۱۴	گامبل هوگارد
۰/۶۷	۰/۰۷۳	۰/۶۴	۰/۰۷۸	۰/۵۸	۰/۰۵۹	فارلی-گامبل-مورگنسترن
۱/۰۴	۰/۰۶	۰/۹	۰/۰۶۶	۰/۸۴	۰/۰۵۳	گلامبوس
۰/۷۸	۰/۰۶۶	۰/۷۱	۰/۰۷	۰/۶۵	۰/۰۵۶	پلاکت

جدول ۶- مقادیر شاخص نفوذ (φ) تخمین زده شده بر اساس احتمال شرطی ۹۵ درصد با استفاده از روش توابع مفصل

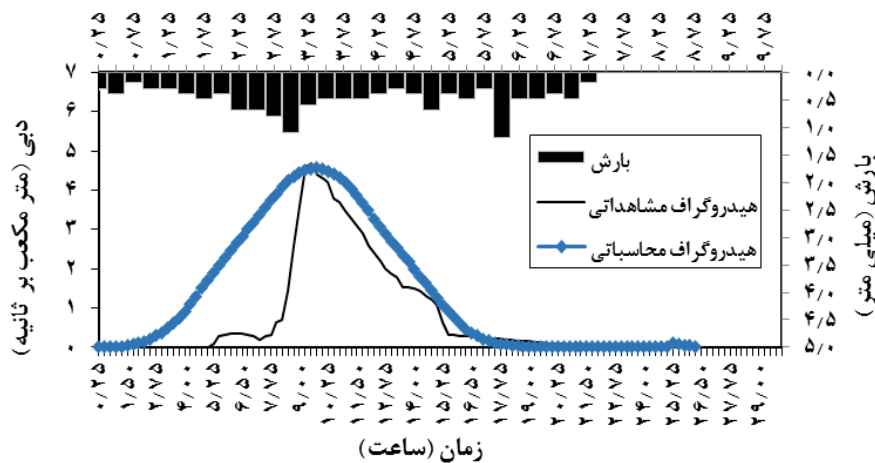
شاخص نفوذ (φ)	رویداد	شاخص نفوذ (φ)	رویداد
۳/۴	۱۳۸۲/۶/۱	۶/۷	۱۳۷۱/۳/۳۱
۰/۰۰۰۳	۱۳۸۲/۷/۱۳	۰/۰۰۲	۱۳۷۱/۷/۱۶
۰/۳۹	۱۳۸۳/۳/۳	۱/۱۳	۱۳۷۲/۳/۱۵
۰/۰۶	۱۳۸۳/۸/۲۸	۰/۹۴	۱۳۷۲/۴/۲۲
۰/۰۱	۱۳۸۳/۹/۴	۱/۱۶	۱۳۷۳/۹/۶
۰/۰۸	۱۳۸۴/۸/۱۵	۷/۲	۱۳۷۴/۳/۲۷
۰/۳	۱۳۸۴/۸/۱۷	۰/۶۳	۱۳۷۶/۲/۱۶
۰/۵۱	۱۳۸۵/۶/۲۶	۰/۴	۱۳۷۸/۱/۱۳
۰/۰۰۹	۱۳۸۵/۱۱/۱۹	۰/۶۵	۱۳۷۹/۸/۹
۰/۰۱	۱۳۸۵/۱۲/۱۰	۰/۷۱	۱۳۸۰/۳/۱۶



شکل ۵- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و روش تابع مفصل برای رویداد ۱۳۷۲/۰۳/۱۵



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و روش توابع مفصل برای رویداد ۱۳۸۰/۰۳/۱۶



شکل ۷- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و روش توابع مفصل برای رویداد ۱۳۸۵/۱۲/۱۰

کرد که نتایج به دست آمده با نتایج Khaleghi و Ghodoosi (۲۰۱۰) و Golkarian و همکاران (۲۰۱۴) که روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی به منظور برآورد دبی اوج نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر بوده تطابق داشته، به همین منظور برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب مناسب می‌باشد. در مورد نتایج به دست آمده در رابطه با توابع مفصل می‌توان گفت طبق نظر Rahimi و همکاران (۲۰۱۴) به دلیل این‌که پدیده‌های هیدرولوژیکی متأثر از چندین ویژگی با برهم کنش داخلی با یکدیگر هستند، نیاز است تا ساختار وابستگی داخلی بین متغیرها نیز مورد بحث قرار گیرد، به همین منظور از تحلیل فراوانی چند متغیره به جای تحلیل فراوانی تک متغیره استفاده می‌شود.

با مقایسه ظاهری بین هیدروگراف محاسباتی از روش توابع مفصل (شکل‌های ۵، ۶ و ۷) و روش روسو (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) با هیدروگراف مشاهداتی برای بیشتر رویدادها می‌توان بیان کرد که هیدروگراف محاسباتی از طریق توابع مفصل به منظور مقایسه پارامترهایی همچون دبی اوج، زمان تا اوج، حجم، W_{50} و W_{75} برآورد دقیق‌تری داشته است. همچنین، با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی $RMSE$ و N_s بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی اجزای مختلف هیدروگراف جریان برای هر دو روش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از توابع مفصل در محاسبه شاخص نفوذ و تعیین بارش موثر در بحث مدل‌سازی بارش-رواناب از دقت بالاتری برخوردار است (جدول ۷). طبق آنچه که در مورد هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی گفته شد، می‌توان بیان

جدول ۷- مقایسه دقت روش‌های روسو و توابع مفصل در برآورد اجزای مختلف هیدروگراف جریان

W ₅₀	W ₇₅	زمان تا اوج (hr)	حجم (m ³)	دبی پیک (m ³ s ⁻¹)	معیار ارزیابی	
۲/۲	۳/۹۱	۳/۹	۵/۰۸	۲/۲۶	روسو	RMSE
۱/۵۴	۲/۷۶	۳/۲	۴/۵۸	۱/۸	تابع مفصل	
۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۷۲	روسو	N _s
۰/۹۱	۰/۷۲	۰/۸۷	۰/۷۸	۰/۸۲	تابع مفصل	

نتیجه‌گیری

دبی اوج و زمان تا اوج داشته است. طبق نتایج به‌دست آمده از طریق معیارهای ارزیابی RMSE و N_s در بحث دبی اوج، زمان تا اوج، حجم و W₇₅, W₅₀ روش تابع مفصل دقت بالاتری داشته است، همچنین، با توجه به نمودارهای رسم شده از روش توابع مفصل و مقایسه آن با روش روسو به لحاظ بازوی بالا رونده و بازوی پایین رونده روش توابع مفصل ارجحیت بالاتری داشته است.

در آخر از آنجایی که تابع مفصل به‌کار برده شده در این پژوهش حالت دو بعدی داشته، به‌خاطر شرکت دادن پارامترهای بیشتر حوضه پیشنهاد می‌شود، حالت‌های چند بعدی (پارامتری) نیز برای حوضه کسپلیان و حتی حوزه آبخیز دیگر استفاده شود، برای تخمین پارامتر وابستگی مفصل از روش توابع منطقی برای حاشیه‌ها (IFM) استفاده شد. روش‌های دیگری مانند روش گشتاورها، بیشینه درست‌نمایی (MLM)، بیشینه درست‌نمایی کانونیکال (CML) و الگوریتم ژنتیک استفاده کرد و این مطالعه برای ۲۰ رویداد بارش-رواناب استفاده شد. پیشنهاد می‌شود، برای جریان‌های کمینه که روشی برای برآورد خشکسالی هیدرولوژیکی در مناطقی که فاقد آمار کافی هستند، نیز به‌کار برده شود.

در مورد شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب به‌وسیله محققان مدل‌های مختلفی ارائه شده است. به‌دلیل این‌که میزان رواناب یک حوضه تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون بارش قبلی، رطوبت خاک، نرخ نفوذ، نگهداشت سطحی، میزان ذخیره و خصوصیات فیزیکی حوضه و ... قرار دارند، بیشتر مدل‌های بارش-رواناب بر اساس اطلاعات مشاهداتی پیشین حوضه‌ها معادله‌بندی و با یک مدل پارامتری بسط داده شده‌اند. از آنجایی که بارش موثر به‌عنوان یکی از پارامترهای اصلی در مدل‌سازی بارش-رواناب محسوب می‌شود، عدم دقت در تخمین دقیق بارش موثر و تلفات می‌تواند بر روی نتایج انجام شده تاثیرگذار باشد. از آنجایی که پدیده‌های هیدرولوژی تحت تاثیر چندین ویژگی با یکدیگر هستند، استفاده از توابع مفصل نسبت به حالت تحلیل فراوانی تک متغیره مناسب‌تر خواهد بود. در این پژوهش، به‌منظور دقت افزایش محاسبه شاخص نفوذ از روش توابع مفصل استفاده شد. با انتخاب تابع مفصل گالامبوس به‌عنوان بهترین نوع تابع مفصل، شاخص نفوذ به‌دست آمده نسبت به حالتی که میزان نفوذ از معادله (۱) محاسبه شده است، هیدروگراف سیلاب دقیق‌تری به لحاظ میزان

منابع مورد استفاده

1. Abbasian, M., S. Jalali and S. Mousavi. 2014. Multivariate analysis of flood frequency and distribution marginal joint function using parametric and nonparametric. *Modares Civil Engineering Journal*, 14(4): 81-92 (in Persian).
2. Agha Kouchak, A., A. Bardossy and E. Habib. 2010. Conditional simulation of remotely sensed rainfall data using a non-Gaussian v-transformed copula. *Advances in Water Resources*, 33: 624-634 (in Persian).
3. Ahmadi, A. and A. Fakhiri Fred. 2011. Comparison of hybrid and Nash models for extraction of unit hydrograph, case study of Lighvan Watershed. *Journal of Water and Soil Science*, 21(1): 29-41 (in Persian).
4. Bahremand, R. and R. Mostafazadeh. 2010. Comparison of the efficiency of methods for estimating the parameters of the nitrogen hydrograph model in the simulation of flow hydrograph in Jafar Abad Basin. *Journal of Watershed Research*, 86: 42-51 (in Persian).
5. Bahremand, A., A. Alvandi, M. Bahrami, M. Dashti Marvili, H. Haravi and Gh. KHosravi. 2014.

- Coppola functions and their application in stochastic hydrology. *Journal of Conservation and Exploitation of Natural Resources*, 4(2): 1- 20 (in Persian).
6. De Michele, C. and G. Salvadori. 2003. A Generalized Pareto intensity-duration model of storm rainfall exploiting 2-Copulas. *Journal of Geophysical Research*, 108(2): 1-15 (in Persian).
 7. Gargouri-Ellouze, E. and Z. Bargaoui. 2012. Runoff estimation an ungauged catchment using Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) and Copulas. *Water Recourse Management*, 26: 1615-1638.
 8. Golkarian, A., A. Nagibi and D. Davoodi Moghaddam. 2014. Evaluation of the efficiency of geomorphology method in estimating the dimensions of a unit's hydrograph and comparing it with Snyder, SCS and triangular methods, case study: Kardeh Watershed. *Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology)*, 28(2): 440-450.
 9. Karami, F. and M. Ismail Pour. 2014. Estimation of runoff using geomorphologic moment unit hydrograph model, case study of Daryan Chay Basin. *Journal of Hydrogeomorphology*, 145 -157 (in Persian).
 10. Khaleghi, M. and J. Ghodoosi. 2010. Evaluation of the efficiency of geomorphologic unit hydrograph methods in estimating peak flood discharge. *Quarterly Journal of Natural Resources Science and Technology*, 5(2): 100-89 (in Persian).
 11. Mirabbasi, R., A. Fakheri-Fard and Y. Dinpashoh. 2012. Bivariate drought frequency analysis using the Copula method. *Theoretical and Applied Climatology*, 108: 191-206.
 12. Nelsen, R.B. 2006. *An introduction to Copulas*. Springer, New York, 269 pages.
 13. Rahimi, L., A. Dehghani, M. Abdolhosseini and KH. Ghorbani. 2014. Flood frequency analysis using the Archimedean copulas functions based on the series of annual maximum. *Journal of Irrigation and Drainage*, 8(2): 353- 365 (in Persian).
 14. Rodriguez-Iturbe, I., M. Gonzalez-Sanabria and R.L. Bras. 1982. A geomorphoclimatic theory on the instantaneous unit hydrograph. *Water Resources Research*, 18(4): 877-886.
 15. Saravanan, S. and R. Manjulia. 2015. Geomorphology based semi-distributed approach for modeling rainfall-runoff modeling using GIS. *Aquatic Procedia*, 4: 908-16.
 16. Rosso, R. 1984. Nash model relation to Horton order ratios. *Water Resources Research*, 20: 914- 920.
 17. Saeedi, P., M. Nick Sakhnam and Kh. Norouzi. 2015. Estimation of Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) and Width-Function based Instantaneous Unit Hydrograph (WFIUH) in non-statistical basins, case study of Ghorveh Basin. *Journal of Ecohydrology*, 2(1): 51-62 (in Persian).
 18. Sahoo, B. and P.G. Saritha. 2015. Estimating floods from an ungauged river basin using GIUH-based Nash Model. *International Symposium on Flood Research and Management*, at: Kota Kinanbalu, Sabah, Malaysia, ISBN: 978-981-287-364-4 (Springer).
 19. Sayed Kabuli, H. and A. Akhund Ali. 2009. Evaluation of rainfall methods in flood hydrograph simulation. *Water and Soil Journal (Agriculture Sciences and Technology)*, 6: 109-98 (in Persian).
 20. Rostamizade, Gh., Sh. Khaligi Sigaroodi and M. Mahdavi. 2013. Calibration of different methods for estimating rainfall losses in HEC-HMS model in order to simulate surface runoff, case study of Catchment. *Rangeland and Watersheds of Iran*, 66(3): 373-359 (in Persian).
 21. Shiau, J.T., S. Feng and S. Nadarajah. 2007. Assessment of hydrological droughts for the Yellow River China using copulas. *Hydrological Processes*, 21: 2157-2163.